

AVALIAÇÃO TÉCNICO-ECONÔMICA DE ALTERNATIVAS DE LODOS ATIVADOS NO TRATAMENTO DE ESGOTOS DOMÉSTICOS

Gustavo Henrique Lima Dutra

Orientador: Dr^a Heike Hoffmann



Universidade Federal de Santa Catarina
Centro Tecnológico
Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental

**AVALIAÇÃO TÉCNICO-ECONÔMICA DE ALTERNATIVAS DE LODOS
ATIVADOS NO TRATAMENTO DE ESGOTOS DOMÉSTICOS**

GUSTAVO HENRIQUE LIMA DUTRA

Trabalho apresentado à Universidade
Federal de Santa Catarina para a
Conclusão do Curso de Graduação em
Engenharia Sanitária e Ambiental
Orientador: Dr^a. Heike Hoffmann

Florianópolis, SC
2014


Universidade Federal de Santa Catarina
Centro Tecnológico
Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental

AVALIAÇÃO TÉCNICO-ECONÔMICA DE ALTERNATIVAS DE LODOS
ATIVADOS NO TRATAMENTO DE ESGOTOS DOMÉSTICOS


GUSTAVO HENRIQUE LIMA DUTRA

Trabalho submetido à Banca Examinadora como parte
dos requisitos para Conclusão do Curso de Graduação
em Engenharia Sanitária e Ambiental – TCC II

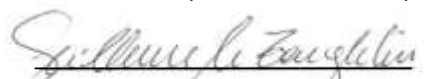
BANCA EXAMINADORA:



Dr^a Heike Hoffmann
(Orientador)



Prof. Dr. Pablo Heleno Sezerino
(Membro da Banca)



Msc. Guilherme Marcelo Zanghelini
(Membro da Banca)

Florianópolis, SC
2014

“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível.”

- Charles Chaplin

AGRADECIMENTOS

À minha querida família que me proporcionou toda a oportunidade para trilhar este caminho, agradeço a todo esforço, amor e carinho. Aos meus pais, exemplos de dedicação, superação e honestidade, os quais me ajudaram a me tornar a pessoa que sou hoje. Ao meu irmão, Douglas, agradeço seu amor, carinho, amizade.

À Heloisa Althoff, parceira e companheira de todos os momentos, obrigado pelo amor, carinho, paciência, lições de vida, e pelos momentos maravilhosos compartilhados.

Aos amigos William, Diogo, Diego, Augusto, Eduardo, Guilherme, Camila, Ana Clara, Alice, Laura, Joana, pela amizade, companhia e pelas muitas horas de estudo compartilhadas.

Aos amigos Guilherme Costa, Leonardo Bernardes, Felipe Mendes, Ricardo Goedert, pela amizade e carinho incondicional demonstrados nestes incríveis anos de convivência, jamais esquecerei vocês.

À minha orientadora, Doutora Heike Hoffmann, e todas as pessoas que me auxiliaram para o desenvolvimento deste trabalho, em especial, aos colegas Sebastian Rosenfeldt e Christoph Platzer, pela ajuda e ensinamentos indispensáveis.

Por fim, à Deus, que sempre esteve ao meu lado e que me permitiu alcançar meus objetivos com bravura.

Meus sinceros agradecimentos a todos.

RESUMO

O tratamento de esgotos no Brasil situa-se num cenário de grandes desafios, sendo o sistema de Lodos Ativados uma importante tecnologia, largamente utilizada e com elevada eficiência de tratamento. Este estudo tem como objetivo avaliar os custos e benefícios de três sistemas de tratamento de esgotos, por variantes da tecnologia de lodos ativados, dimensionados para atender uma população de 100.000 habitantes. É estabelecido um cenário de mesmos parâmetros ambientais para as alternativas consideradas, com as seguintes premissas: (i) necessidade de 90% de eficiência na remoção de carga orgânica (DQO); (ii) necessidade de nitrificação (80%) e (iii) desnitrificação (60%); (iv) estabilização do lodo por processos aeróbios ou anaeróbios. Para estabelecer a comparação entre as alternativas, é aplicada a metodologia de custo do ciclo de vida. Esta metodologia se traduz num método de cálculo da totalidade dos custos inerentes ao projeto, durante toda a vida do mesmo. Os custos e benefícios associados aos respectivos sistemas de tratamento de esgotos são identificados e classificados. Os custos refletem todas as despesas do projeto em questão, desde as primeiras despesas até o fim da vida útil do projeto, e são classificados como custos de investimento inicial, e custos de OM&R (operação, manutenção e reparação). Com o objetivo de simplificar o estudo, o custo de desidratação do lodo não será considerado, apenas será considerado o custo para disposição de lodo em aterro sanitário. Os custos das alternativas avaliadas relevam principalmente os seguintes aspectos: área construída, custos de implantação de obras civis e aquisição de equipamentos, consumo de energia, custo de disposição de lodo, potencial de aproveitamento energético do biogás.

PALAVRAS-CHAVE: Custo do Ciclo de Vida; Lodos Ativados; Comparação de Alternativas; Tratamento de Esgotos.

ABSTRACT

Brazil's sewage treatment nowadays has been situated in a very challenging scenario, which the Activated Sludge system is an important technology that is widely implemented and has a highly efficiency of treatment. This study aims to evaluate the costs and benefits of three wastewater treatment systems, which consists of variants of the activated sludge technology, designed to attend a population of 100,000 habitants. It is established a scenario equal environmental parameters for the alternatives considered, with the following assumptions: (i) the need for 90% efficiency in removing organic load (BOD); (ii) the need for nitrification (80%) and (iii) Denitrification (60%); (iv) sludge stabilization by aerobic or anaerobic processes. To establish a comparison between the alternatives, it is applied the methodology of life cycle cost. This methodology consists in calculate the project's total cost, during the project life. The costs and benefits associated with the sewage treatment system are identified and classified. The costs reflect all expenses of the project, since the beginning of expenses to the end of life cycle, and are classified as initial investment costs, and OM&R costs (operation, maintenance and repair). In order to simplify the study, the cost of dewatering sludge will not be considered, it will only be considered the cost for sludge disposal in landfill. The costs of the alternatives evaluated concentrate mainly in the following: built area, implementation costs of civil works and equipment, energy consumption, sludge disposal costs, energy recovery potential of biogas.

KEYWORDS: Life Cycle Cost; Activated Sludge; Alternatives Comparison; Wastewater Treatment.

ÍNDICE DE ABREVIACÕES

LAAP – Lodos Ativados com aeração prolongada

UASB – Upflow Anaerobic Sludge Blanket

LAC – Lodos Ativados Convencional

DP – Decantador Primário

DL – Digestor de Lodo

ST – Sólidos Totais

SST – Sólidos Suspensos Totais

SDT – Sólidos Dissolvidos Totais

SFT – Sólidos Fixos Totais

SVT – Sólidos Voláteis Totais

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO – Demanda Química de Oxigênio

NTK – Nitrogênio Total Kjeldahl

COT – Carbono Orgânico Total

RBS – Reator de Batelada Sequencial

SINAPI – Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil

CEF – Caixa Econômica Federal

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

OM&R – Operação, manutenção e reparação

IPCA – Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo

CUB – Custo Unitário Básico da Construção Civil

IGP-M – Índice Geral de Preços do Mercado

PRFV – Plástico reforçado com Fibra de Vidro

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma de distribuição média da concentração de sólidos no esgoto sanitário. Fonte: Adaptado de Von Sperling (2005).	29
Figura 2 – Fluxograma do Sistema de aeração prolongada. Fonte: Adaptado de VON SPERLING, 1997.	34
Figura 3 - Representação esquemática de um Reator em Batelada Sequencial (RBS). Adaptado de Artan e Orhon (2005).....	36
Figura 4 - Fases do Reator em Batelada Sequencial. Jordão e Pessoa (2005).....	37
Figura 5 – Desenho esquemático de um reator UASB. Fonte: Campos, (2009).	45
Figura 6 - Separador trifásico. Fonte: CAESB.	47
Figura 7 – Variação anual do IPCA no Brasil, no período de janeiro de 2004 até janeiro de 2012. Fonte: Banco Central do Brasil.	53
Figura 8 – Variação anual do IGP no Brasil, no período de janeiro de 2004 até janeiro de 2012. Fonte: SindusCon-PR (2013).	54
Figura 9 – Fluxograma alternativa LAAP.	55
Figura 10 – Fluxograma alternativa UASB-LAC.....	56
Figura 11 – Fluxograma alternativa DP-LAC-DL.....	56
Figura 12 – Período de projeto do estudo do custo de ciclo de vida.	67
Figura 13 – Indicador de desempenho 1: Potência instalada por habitante.....	80
Figura 14 – Indicador de desempenho 2: Área construída por habitante.....	80
Figura 15 – Indicador de desempenho 3: Custo de implantação por habitante.....	81
Figura 16 - Indicador de desempenho 4: Custo de energia por habitante.....	82
Figura 17 - Indicador de desempenho 5: Custo de energia por m ³ tratado.	82
Figura 18 - Indicador de desempenho 6: Custo de energia por massa de DQO removida.....	83

Figura 19 - Indicador de desempenho 7: Custo de energia por massa de SST removida.	83
Figura 20 - Indicador de desempenho 8: Custo de disposição de lodo por habitante.	84
Figura 21 - Indicador de desempenho 9: Custo de operação por habitante.	85
Figura 22 - Indicador de desempenho 10: Custo do ciclo de vida por habitante (Valor Presente Líquido).	85
Figura 23 – Potencial energético do biogás nas alternativas UASB-LAC e DP-LAC-DL.	86
Figura 24 – Valor monetário referente a economia de consumo energético.	86

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais características físicas dos esgotos domésticos. Fonte: Adaptado de Von Sperling (2005).....	27
Tabela 2 – Principais características químicas dos esgotos domésticos. Fonte: Adaptado de Von Sperling (2005).....	27
Tabela 3 – Principais características biológicas dos esgotos domésticos. Fonte: Adaptado de Von Sperling (2005).....	28
Tabela 4 – Principais vantagens, desvantagens e similaridades do sistema UASB – lodos ativados em relação ao sistema convencional de lodos ativados. Fonte: Adaptado de VON SPERLING, 1997.	39
Tabela 5 – Vantagens e desvantagens das variantes mais comuns dos sistemas de lodos ativados. Fonte: Adaptado de VON SPERLING, 1997.	41
Tabela 6 – Principais características do Sistema de lodos ativados de acordo com suas variantes. Fonte: Adaptado de VON SPERLING, 1997.	42
Tabela 7 – Características do esgoto e vazão de projeto	57
Tabela 8 - Dimensionamento do Decantador Primário, alternativa DP-LAC-DL.	70
Tabela 9 - Dimensionamento do reator UASB, alternativa UASB- LAC.	71
Tabela 10 – Dimensionamento do reator biológico da unidade de Lodos Ativados.....	72
Tabela 11 – Dimensionamento do Decantador Secundário.....	73
Tabela 12 – Dimensionamento do Digestor de Lodo.	74
Tabela 13 – Concentrações ideais para o efluente final.....	74
Tabela 14 – Custo unitário dos equipamentos. Fonte: Cotação pessoal.	74
Tabela 15 – Custos de implantação das alternativas de tratamento de esgotos.	75
Tabela 16 – Vida útil dos equipamentos. Fonte: Contato pessoal com as empresas cotadas.	76
Tabela 17 – Custos de Operação (consume energético, substituição de equipamentos e disposição de lodo).	77

Tabela 18 – Resumo do custo do ciclo de vida.....	78
Tabela 19 – Indicadores de desempenho.....	79

Índice

1. INTRODUÇÃO	23
2. OBJETIVOS	25
2.1. Objetivo Geral	25
2.2. Objetivos específicos	25
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	26
3.1. <i>Esgotos Sanitários</i>	26
3.1.1. Sólidos	29
3.1.2. Indicadores de matéria orgânica	30
3.1.3. Indicadores de contaminação fecal	31
3.2. <i>Lodos Ativados</i>	32
3.2.1. Convencional	33
3.2.2. Aeração prolongada	34
3.2.3. Reator em Batelada Sequencial (RBS)	35
3.2.4. Lodos Ativados para pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios	38
3.2.5. Tratamento do lodo	39
3.2.6. Comparação entre variantes do processo de lodos ativados	40
3.3. <i>Reator UASB</i>	43
3.3.1. Descrição preliminar	43
3.3.2. Descrição do processo de tratamento	44
3.3.3. Princípios de operação	45
3.3.4. Configurações usuais de reatores	46
3.3.5. Parâmetros de projeto	46
3.3.6. Maturidade Tecnológica	48

3.4.	<i>Digestores anaeróbios de lodo</i>	48
3.4.1.	Digestor anaeróbio de baixa carga	48
3.4.2.	Digestor anaeróbio de um estágio e alta carga	49
3.5.	<i>Análise do custo do ciclo de vida (Life cycle cost analysis)</i> 49	
3.5.1.	Definição do projeto e estabelecimento do objetivo.	50
3.5.2.	Estimativa dos custos.....	50
3.5.3.	Classificação dos custos	51
3.5.5.	Valor temporal do dinheiro (time value of money) ..	52
4.	METODOLOGIA	55
4.1.	Descrição das alternativas	55
4.1.1.	Lodo Ativado com Aeração Prolongada (LAAP)	55
4.1.2.	Reator UASB seguido por Lodo Ativado Convencional (UASB-LAC)	56
4.1.3.	Lodo Ativado Convencional e Digestor de Lodo (DP- LAC-DL)56	
4.2.	Dimensionamento.....	57
4.2.1.	Metodologia de cálculo para dimensionamento de Reatores UASB	58
4.2.2.	Metodologia de cálculo para dimensionamento de lodos ativados	60
4.2.3.	Metodologia de cálculo para dimensionamento de digestores de lodo	65
4.3.	Aproveitamento do biogás.....	66
4.4.	Custos	66
4.4.1.	Levantamento e estimativa de custos	67
5.	RESULTADOS	70

5.1.	<i>Resumo do Dimensionamento</i>	70
5.2.	<i>Resultado dos custos</i>	74
5.3.	<i>Indicadores de desempenho</i>	79
5.4.	<i>Aproveitamento do biogás</i>	86
6.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	87
7.	BIBLIOGRAFIA	89

APÊNDICE I. PLANILHAS DE CÁLCULO DO CUSTO DO CICLO DE VIDA.	93
--	----

1. INTRODUÇÃO

O impacto do lançamento de efluentes originados de estações de tratamento de esgotos em corpos d'água é motivo de grande preocupação para a maioria dos países. Uma série de legislações ambientais, critérios e políticas buscam regular a seleção dos locais de disposição de esgotos, e o nível de tratamento exigido para garantir que os impactos ambientais provocados pelo lançamento destes efluentes em corpos receptores sejam aceitáveis. O efeito da poluição sobre a sociedade é reconhecida pela maioria dos cidadãos e tem resultado em um compromisso nacional para com saneamento ambiental. A Política Nacional de Saneamento Básico estabelece diretrizes que garantem a universalização, integralidade dos serviços de saneamento básico, que consistem abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos, bem como drenagem de águas pluviais urbanas (Lei 11.445/2007). Outras resoluções estabelecem padrões de lançamento de efluentes nos corpos receptores, como por exemplo, as Resoluções CONAMA 357/2005, CONAMA 430/2011, o código ambiental de Santa Catarina, e a lei do estado de Santa Catarina nº 14.675/2009.

Devido a estas exigências ambientais, instituídas por lei, as indústrias e sistemas municipais de esgotamento sanitário tiveram de estabelecer estações de tratamento de efluentes para garantir efluentes dentro das condições ambientais. Neste cenário, grande parte dos municípios no país possuem a necessidade de atualizar seus sistemas de tratamento resultando em uma quantidade considerável de construção de novas estações de tratamento e modernização das instalações de tratamento existentes.

O objetivo de uma estação de tratamento de esgotos é de proporcionar tratamento eficiente dos efluentes, satisfazendo requisitos específicos da legislação ambiental, a um custo mínimo. Em estudos de custo, um custo total é determinar para assegurar um nível pré-determinado de tratamento. As limitações geralmente incluem a qualidade do efluente final e parâmetros físico e biológicos. Um estudo orientado para o conhecimento dos custos de implantação e operação de uma estação de tratamento de esgotos pode auxiliar na tomada de decisão entre alternativas, configurando a opção que apresenta menores custos totais.

O presente trabalho evidencia que numa avaliação de projetos a Análise do Custo do Ciclo de Vida (ACCV) é um estudo essencial para se estimar custos. Este método permite separar os custos por classe, tornando evidentes quais atividades resultam nos maiores valores. Os custos de investimento (implantação e aquisição de equipamentos) e os custos de

OM&R (operação, manutenção e reparação) são calculados para o ciclo de vida, evidenciando as vantagens econômicas das alternativas estudadas.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Avaliar do ponto de vista técnico-econômico três configurações de lodo ativado: como única etapa; em combinação com tratamento anaeróbio de esgoto (UASB); com tratamento anaeróbio de lodo (digestor); considerando uma contribuição de 100.000 habitantes.

2.2. Objetivos específicos

Os objetivos específicos consistem em:

- Levantar dados técnicos dos três sistemas de tratamento de esgotos propostos, em escala real, para atender uma população de 100.000 habitantes;
- Realizar o dimensionamento dos sistemas de tratamento de esgotos;
- Determinar os custos totais de cada alternativa;
- Comparar as alternativas a partir de indicadores de desempenho específicos, utilizando o critério da eficiência econômica.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Esgotos Sanitários

Desde antigamente, quando os homens começaram a se estabelecer em cidades, a coleta das águas servidas, que hoje conhecemos como esgoto sanitário, era uma grande preocupação para as civilizações (NUVOLARI, 2003).

Atualmente, apesar de diversas cidades brasileiras possuírem estações de tratamento de esgotos, a maior parcela do país não possui sistema de coleta e tratamento de esgotos. Inevitavelmente, terão de fazê-lo, sob pena de ficarem sem mananciais de águas próprias para abastecimento público e com graves problemas de saúde pública (NUVOLARI, 2003).

O esgoto doméstico é originado a partir da água de abastecimento e, portanto, seu volume resulta da quantidade da água consumida (NUVOLARI, 2003). De acordo com o autor, o esgoto pode ser destinado a cursos d'água, lagoas, oceano ou até mesmo solo. O local do despejo é denominado corpo receptor.

Os esgotos domésticos consistem em aproximadamente 99,9% de água. A fração restante é formada por sólidos orgânicos e inorgânicos, suspensos e dissolvidos, e ainda, microrganismos. De fato, o tratamento dos esgotos é necessário devido a essa fração de 0,1% (VON SPERLING, 2005).

Os esgotos tem suas características definidas pela função dos usos à qual a água foi submetida, podendo variar com o clima, situação social e econômica, e hábitos da população (VON SPERLING, 2005).

Quando se inicia um projeto de uma estação de tratamento de esgotos, é de interesse se determinar os parâmetros indiretos que caracterizam o grau de poluição dos esgotos. Estes parâmetros definem a qualidade do esgoto, e são divididos em três categorias: físicos, químicos e biológicos (VON SPERLING, 2005).

As tabelas a seguir apresentam os parâmetros físicos, químicos e biológicos respectivamente.

Tabela 1 - Principais características físicas dos esgotos domésticos. Fonte: Adaptado de Von Sperling (2005).

Parâmetro	Descrição
Temperatura	Superior à da água de abastecimento
	Varia conforme as estações do ano
	Influência na atividade microbiana
	Influência na solubilidade dos gases
Cor	Esgoto fresco: cinza
	Esgoto séptico: cinza escuro ou preto
Odor	Esgoto fresco: odor oleoso, um pouco desagradável
	Esgoto séptico: odor fétido, bastante desagradável (devido ao gás sulfídrico e outros produtos da decomposição)
Turbidez	Causada por grande variedade de sólidos em suspensão
	Esgotos mais frescos tendem a ter maior turbidez

Tabela 2 – Principais características químicas dos esgotos domésticos. Fonte: Adaptado de Von Sperling (2005).

Parâmetros	Descrição
SÓLIDOS TOTAIS	Orgânicos e inorgânicos; suspensos e dissolvidos; sedimentáveis.
Em suspensão	Fração dos sólidos orgânicos e inorgânicos que são retidos em filtros de papel com aberturas de dimensões padronizadas (0,45 à 2,0 µm).
Dissolvidos	Fração dos sólidos orgânicos e inorgânicos que não são retidos nos filtros de papel descritos acima. Englobam também os sólidos coloidais.
Sedimentáveis	Fração dos sólidos orgânicos e inorgânicos que sedimenta em 1 hora no cone Imhoff.
MATÉRIA ORGÂNICA	Mistura heterogênea de diversos compostos orgânicos.
DBO5	Demanda Bioquímica de Oxigênio. Medida a 5 dias, 20° C. Associada à fração biodegradável dos componentes orgânicos carbonáceos.
DQO	Demanda Química de Oxigênio. Representa a quantidade de oxigênio requerida para estabilizar quimicamente a matéria orgânica carbonácea.
DBO última	Demanda Ultima de Oxigênio. Representa o consumo total de oxigênio, requerido pelos microrganismos para a oxidação bioquímica da matéria orgânica.
COT	Carbono Orgânico Total. É uma medida direta da matéria orgânica carbonácea.

Parâmetros	Descrição
NITROGÊNIO TOTAL	Inclui o nitrogênio orgânico, amônia, nitrito e nitrato.
Nitrogênio orgânico	Nitrogênio na forma de proteínas, aminoácidos e uréia.
Amônia	Produzida como primeiro estágio da decomposição do nitrogênio orgânico.
Nitrito	Estágio intermediário da oxidação da amônia.
Nitrato	Produto final da oxidação da amônia.
FÓSFORO	Existe na forma orgânica e inorgânica.
Fósforo orgânico	Combinado a matéria orgânica.
Fósforo inorgânico	Ortofosfato e polifosfatos.
pH	Indicador das características ácidas ou básicas do esgoto.
ALCALINIDADE	Indicador da capacidade tampão do meio (resistência a variações do pH).
CLORETOS	Provenientes da água de abastecimento e dos dejetos humanos.
ÓLEOS E GRAXAS	Fração da matéria orgânica solúvel em hexanos.

Tabela 3 – Principais características biológicas dos esgotos domésticos. Fonte: Adaptado de Von Sperling (2005).

Microrganismo	Descrição
Bactérias	Organismos unicelulares, diversos tamanhos e formas, principais responsáveis pela conversão da matéria orgânica.
Algas	Organismos autotróficos, fotossintetizantes, importantes na produção de oxigênio nos corpos d'água e em alguns processos de tratamento.
Fungos	Organismos predominantemente aeróbios, importantes na decomposição da matéria orgânica.
Protozoários	Organismos unicelulares, essenciais no tratamento biológico para a manutenção de um equilíbrio entre os diversos grupos. Alguns são patogênicos.
Vírus	Organismos parasitas, de difícil remoção no tratamento de esgotos.
Helmintos	Animais superiores. Ovos de helmintos presentes nos esgotos podem causar doenças.

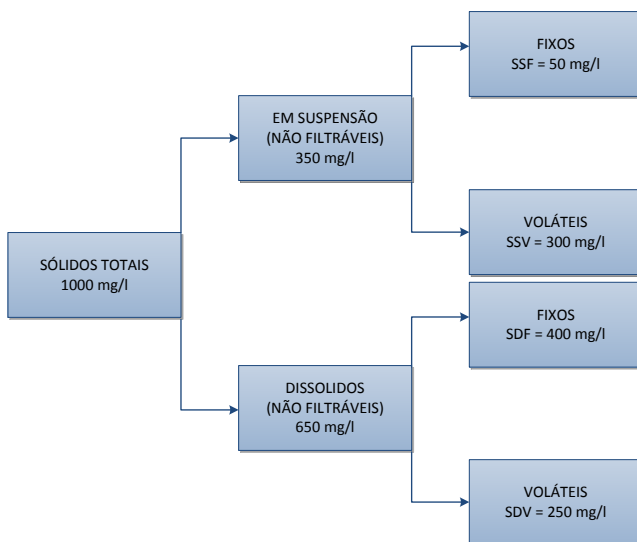
De acordo com Von Sperling (2005), os principais parâmetros que descrevem os esgotos domésticos são destacados devido sua importância:

- Sólidos;
- Indicadores de matéria orgânica;
- Nitrogênio;
- Fósforo;
- Indicadores de contaminação fecal.

3.1.1. Sólidos

Sólidos totais (ST) representam a quantidade de partículas sólidas existentes em uma amostra. Este parâmetro é dividido em algumas classificações. O fluxograma a seguir representa essa divisão, além da concentração média de sólidos nos esgotos sanitários.

Figura 1 – Fluxograma de distribuição média da concentração de sólidos no esgoto sanitário. Fonte: Adaptado de Von Sperling (2005).



Os sólidos suspensos totais (SST), representam as partículas com tamanho igual ou superior a 1,2 µm enquanto os sólidos dissolvidos totais (SDT) representam as partículas com tamanho inferior a 1,2 µm.

As classificações citadas acima podem ainda ser divididas em sólidos fixos totais (SFT), os quais consistem na porção de minerais

existentes na amostra, e em sólidos voláteis totais (SVT), a porção de matéria orgânica na amostra.

3.1.2. Indicadores de matéria orgânica

Os indicadores de matéria orgânica consistem na DBO_5 , DQO, e $DBO_{\text{última}}$.

3.1.2.1. DBO_5

A demanda bioquímica de oxigênio representa a quantidade de oxigênio dissolvido necessária aos microrganismos na estabilização da matéria orgânica em decomposição, sob condições aeróbias. Quanto maior a quantidade de matéria orgânica biodegradável presente no efluente, maior é a DBO (NUVOLARI, 2003).

Geralmente, mede-se a DBO de cinco dias, a uma temperatura de 20°C (DBO_5-20), o qual representa a quantidade de oxigênio utilizado na estabilização da matéria orgânica num período de cinco dias, em uma amostra com temperatura de 20°C .

Visto que a DBO_5 expressa o consumo de oxigênio durante os primeiros cinco dias de biodegradação do esgoto, onde a estabilização da matéria orgânica ainda não foi alcançada, existe a necessidade de avaliar o consumo de oxigênio após estabilização. A $DBO_{\text{última}}$ é medida ao vigésimo dia, onde se assume completa a estabilização do esgoto.

3.1.2.2. DQO

A demanda química de oxigênio expressa o consumo de oxigênio resultado da oxidação química da matéria orgânica. Este valor representa uma indicação indireta do teor de matéria orgânica presente no esgoto. A relação DQO/DBO para esgotos domésticos brutos, varia em torno de 1,7 a 2,4, caracterizando uma relação intermediária, onde a fração biodegradável e a fração inerte não apresentam diferença elevada (VON SPERLING, 2009).

3.1.2.3. Nitrogênio

O nitrogênio é um elemento indispensável para o crescimento dos microrganismos responsáveis pelo tratamento de esgotos. Usualmente é verificado nas formas de nitrogênio orgânico (dissolvido ou em suspensão) e amoniacal (N-NH_{4+}) ou ionizado (NH_{4+}), característicos de poluição fresca.

Também podem aparecer nas formas de nitritos (NO_2^-) e nitratos (NO_3^-), encontrados em poluição mais antiga. O nitrogênio pode ainda estar em diversas formas, inorgânicas ou orgânicas, podendo, inclusive, apresentar-se como gases tóxicos, como é o caso do gás cianídrico. As reações de transformação química do nitrogênio estão diretamente relacionadas com o pH em que se encontra a amostra.

3.1.2.4. Fósforo

O fósforo é parte integrante do protoplasma das células dos microrganismos, constituindo-se num dos elementos essenciais para síntese bacteriana (NUVOLARI, 2003).

Justamente por isso, sua presença caracteriza contaminação por despejos domésticos. Geralmente apresentam-se nas formas de ortofosfato, polifosfato e fósforo orgânico (VON SPERLING, 2005).

De acordo com Nuvolari (2003), para se obter bom crescimento bacteriano e, logo, boas condições de tratamento biológico nas ETE's, é importante manter a relação carbono/nitrogênio/fósforo (CNP) aproximadamente a 100:5:1. O esgoto doméstico normalmente já apresenta esta relação.

3.1.3. Indicadores de contaminação fecal

Agentes patogênicos são de difícil detecção, visto suas baixas concentrações em uma amostra d'água. Para se determinar a presença ou não de patógenos, são utilizados estudos a partir de organismos indicadores de contaminação fecal (VON SPERLING, 2005). Estes indicadores são: coliformes totais (CT), coliformes fecais (CF), *Escherichia coli* (EC).

Os coliformes totais constituem um grupo de bactérias isoladas de amostras d'água poluídas, fezes de seres humanos e de outros animais de sangue quente. Os coliformes fecais, ou termotolerantes, são caracterizados por um grupo de bactérias indicadoras de organismos originários predominantemente do trato intestinal humano e outros animais. São denominados também termotolerantes devido a resistência que apresentam a elevadas temperaturas. A *Escherichia coli*, principal bactéria do grupo de coliformes fecais, é a bactéria que determina com certeza a contaminação exclusivamente fecal. Porém, sua detecção não dá garantia de que a contaminação seja de origem humana (VON SPERLING, 2005).

3.2. *Lodos Ativados*

Ao fim do século XIX, os processos físico-químicos de tratamento de esgotos eram os mais usuais da época, e os processos biológicos de tratamento eram restritos aos filtros intermitentes, filtros biológicos, leitos percoladores e tanques sépticos. Entretanto, nenhum desses processos resultava num efluente de alta qualidade. Com o intuito de identificar um sistema de tratamento mais eficiente, Lockett e Arden desenvolveram em 1914 o sistema de lodo ativado (JORDÃO & PESSÔA, 2005; VAN HAANDEL & MARAIS, 1999).

Porém, somente a partir de 1950 houve um grande desenvolvimento tecnológico (aeradores, metodologias de projeto) e de pesquisas (estudos cinéticos de crescimento microbiano, cálculos de dimensionamento) (GONÇALVES et al., 2001).

Atualmente o tratamento biológico por lodos ativados é o mais utilizado para a depuração de esgotos caracterizados por contaminação de carga orgânica e produtos nitrogenados, representando um sistema de tratamento de baixo custo de investimento e elevada taxa de eficiência (remoção de DBO/DQO) (MELCHIOR et al., 2003).

O sistema de lodos ativados consiste em: tanque de aeração (reator), decantador secundário, sistema de recirculação do lodo. O efluente do pré-tratamento ou do tratamento primário, e o lodo de recirculação, são conduzidos para o tanque de aeração, onde é feita a aeração e mistura. Este tanque é onde ocorrem as reações de remoção de substrato. No decantador secundário ocorre a sedimentação de sólidos (biomassa), resultando na saída de um efluente clarificado. A maior parcela de lodo sedimentado no fundo do decantador é retornada ao tanque de aeração, sendo que a menor parcela é retirada para tratamento e/ou destinação final (lodo excedente) (VON SPERLING, 2002).

A recirculação dos sólidos garante a elevada eficiência deste processo, pois os mesmos permanecem por tempo superior ao da massa líquida, proporcionando tempo suficiente para a biomassa metabolizar praticamente toda matéria orgânica dos esgotos. (VON SPERLING, 1997).

A separação da biomassa no decantador secundário ocorre devido a sua propriedade de formar flocos, os quais sedimentam mais facilmente devidos suas dimensões. De acordo com Bento et. al. (2005), os flocos biológicos compõem um micro-sistema complexo constituído por bactérias, fungos, protozoários e micrometazoários, sendo as bactérias as principais

responsáveis pela depuração da matéria carbonácea e pela estruturação dos flocos.

Lodos Ativados é um dos mais completos processos desenvolvidos para o tratamento biológico de esgotos. Foi o sistema mais usual de remoção do carbono orgânico, e ainda, tem sido utilizado com eficiência para remoção de nitrogênio e fósforo. São parâmetros indispensáveis para o dimensionamento dos sistema de lodos ativados: Idade do lodo, relação alimento/microrganismo, carga orgânica aplicada, produção de sólidos, demanda de oxigênio, índice volumétrico de lodo e o índice de nutrientes (VON SPERLING, 1997).

O sistema de lodos ativados possui diversas variantes. Ele pode ser classificado em lodos ativados convencional e lodos ativados de aeração prolongada, ambos de fluxo contínuo, ou ainda lodos ativados de fluxo intermitente (reator sequencial por batelada). Os sistemas de fluxo contínuo de lodos ativados garantem um desempenho satisfatório para tratamento de esgotos convencionais. Contudo, visto a alta exigência da qualidade do efluente tratado, a necessidade de elevada remoção de carga orgânica e nutrientes torna-se um desafio para a eficiência desse sistema (ARTAN & ORHON, 2005).

3.2.1. Convencional

O sistema de lodos ativados convencional apresenta um decantador primário, antes do tanque de aeração, para remover parcela da matéria orgânica (em suspensão, sedimentável) dos esgotos. Esta configuração proporciona economia de energia com aeração e reduz o volume do reator biológico. Assim, o sistema convencional tem como parte integrante o tratamento primário. A idade do lodo usualmente é de 4 a 10 dias e o tempo de detenção hidráulica no reator é de 6 a 8 horas (VON SPERLING, 1997).

Para essa faixa de idade do lodo, a biomassa retirada do sistema no lodo excedente requer uma etapa de estabilização no tratamento do lodo devido ainda conter elevada matéria orgânica. Esta estabilização deve ocorrer por meio de digestores. Para reduzir o volume de lodo a ser estabilizado separadamente, o lodo excedente deve previamente ser adensado, retirando parcela da umidade, diminuindo o volume de lodo a ser tratado. (VON SPERLING, 1997).

3.2.2. Aeração prolongada

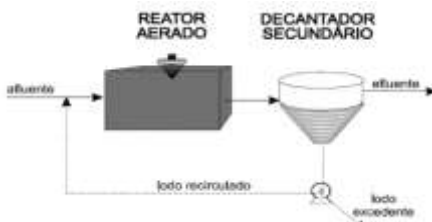
Quando a biomassa permanece no sistema por um período mais longo, da ordem de 18 a 30 dias, portanto por um período de aeração prolongado, e recebendo a mesma carga de DBO do esgoto bruto, haverá menor disponibilidade de alimento para as bactérias (relação alimento/microrganismos baixa).

Com isso, as bactérias, para sobreviverem, passam a utilizar nos seus processos metabólicos a própria matéria orgânica componente de suas células, convertendo-a em gás carbônico e água. Desta forma, ocorre a estabilização da biomassa no próprio tanque de aeração, não necessitando assim uma etapa de estabilização complementar do lodo, como nos processos de lodos ativados convencional.

A quantidade de biomassa (kgSSVTA), o volume do reator aeróbio e o tempo de detenção hidráulica nessa configuração são mais elevados do que o sistema convencional. Logo, há menos matéria orgânica por unidade de volume do tanque de aeração e também por unidade de biomassa do reator (VON SPERLING, 1997).

Outra diferença entre o sistema de aeração prolongada e o sistema convencional, é que no primeiro não há decantador primário, a fim de evitar a geração de alguma outra forma de lodo que necessite posterior estabilização. Desta forma, o fluxograma do sistema de aeração prolongada é mais simples, pois não há decantadores primários nem unidades de digestão de lodo, conforme a Figura 1 abaixo (VON SPERLING, 1997).

Figura 2 – Fluxograma do Sistema de aeração prolongada. Fonte: Adaptado de VON SPERLING, 1997.



O sistema de lodos ativados por aeração prolongada é a configuração que exige maior área para construção e consumo de energia elétrica quando comparado ao processo convencional. Contudo, esse aumento é justificado

visto a alta eficiência para a remoção de DBO. De acordo com Além Sobrinho (1983), a eficiência desse sistema para a remoção de DBO é de 90 a 98% e para a nitrificação 99%.

A elevada quantidade de sólidos biológicos no tanque de aeração proporciona ao sistema por aeração prolongada resistência a cargas de choques e lançamentos ocasionais de elementos tóxicos no sistema. Contudo, quando o ambiente no reator sofre degeneração acentuada, devido a elevada idade de lodo a que opera, o período de tempo requerido para o retorno às condições normais de operação, depois de eliminada a causa do distúrbio, é em geral bastante grande (ALÉM SOBRINHO, 1983).

É importante ressaltar a importância de uma boa sedimentação do decantador secundário para garantir um tratamento eficaz. De acordo com VON SPERLING (1997), a eficiência de qualquer variante do processo de lodos ativados está intimamente relacionada ao desempenho do decantador secundário. A má sedimentação pode ser causada por vários fatores, entre eles o intumescimento filamentoso e a desnitrificação que pode ocorrer no próprio decantador (JORDÃO & PESSÔA, 2005). Uma baixa relação entre alimento e microrganismos (A/M) nos tanques de aeração pode resultar no surgimento e proliferação excessiva dos organismos filamentosos. O crescimento excessivo das bactérias filamentosas ocasiona o intumescimento do lodo comumente chamado de bulking filamentoso, provocando má sedimentação e compactação do lodo no decantador secundário (SOUSA et al., 2002).

De acordo com Jordão & Pessôa (2005), a ocorrência da desnitrificação (conversão dos nitratos a gás nitrogênio) pode interferir nas condições de sedimentação normais no decantador secundário, visto que a liberação de gás nitrogênio acarreta o arraste de sólidos e formação de uma manta de sólidos na superfície do decantador, diminuindo a qualidade do efluente final. Para prevenir e controlar este problema uma modificação do processo de lodos ativados é implementada, o qual inclui uma zona de mistura do esgoto afluente e de lodo ativado recirculado na parte montante do tanque de aeração, antes do corpo principal do reator, com condições particulares de aeração e agitação (JORDÃO & PESSÔA, 2005).

Esses reatores modificados são denominados seletores biológicos, pois neles ocorre a seleção dos microrganismos mais desejáveis no tanque de aeração. O contato do lodo de retorno com o esgoto bruto proporciona uma alta relação A/M o qual favorece o aparecimento de bactérias formadoras de flocos (SOUSA et al., 2002).

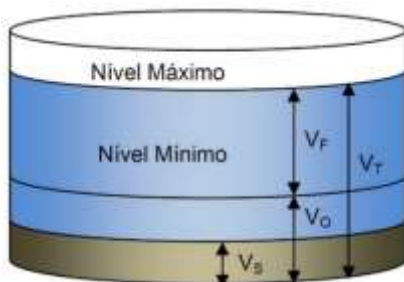
3.2.3. Reator em Batelada Sequencial (RBS)

Devido a necessidade de atender os níveis de eficiência das legislações cada vez mais severas, o avanço da tecnologia dos processos, equipamentos, e conhecimento técnico, e ainda, a necessidade de redução de custos construtivos e operacionais, resultaram numa evolução do sistema de lodos ativados. Dentre as novas tecnologias, o Reator em Batelada sequencial se mostra a variação operacional mais promissora e viável para o tratamento de esgotos.

A simplicidade e flexibilidade de operação fazem do RBS uma tecnologia muito popular na indústria de saneamento. O reator em batelada sequencial surgiu no início dos anos 70, no tratamento biológico de águas residuárias. Esta tecnologia consiste na incorporação de todas as unidades, processos e operações adjuntos do sistema de lodos ativados convencional (decantação primária, oxidação biológica, decantação secundária) em um único tanque. Os processos e operação passam então a ser sequenciais ao longo do tempo (VON SPERLING, 1997).

O volume do tanque do Reator em Batelada Sequencial compreende duas frações independentes. A fração de volume estacionário (V_o) consiste no volume de lodo sedimentado (V_s) diluído no volume de efluente tratado ainda não retirado. A segunda fração compreende no volume que é retirado ou enchido por ciclo (V_f). O volume total (V_t) é a soma das frações. O esquema a seguir ilustra com clareza as frações dentro do reator.

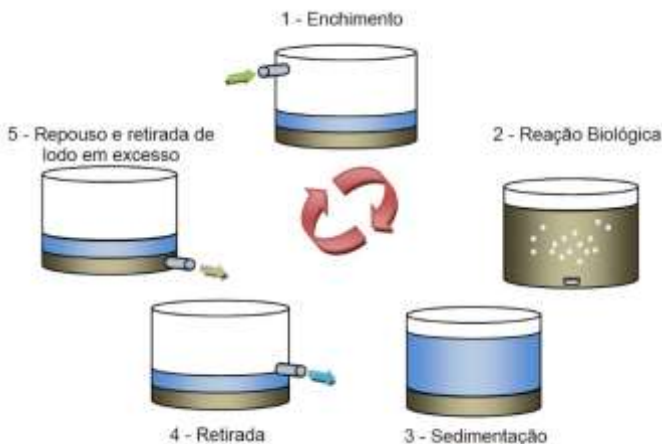
Figura 3 - Representação esquemática de um Reator em Batelada Sequencial (RBS). Adaptado de Artan e Orhon (2005).



De acordo com Artan e Orhon (2005), o processo de lodos ativados em bateladas consiste em operação cíclica, em estado estacionário e com entrada de efluente intermitente, durante períodos estabelecidos ou durante todo o ciclo, exceto nas etapas de sedimentação e retirada. Geralmente, o ciclo

do Reator em Batelada Sequencial consiste de cinco fases, como mostra o esquema.

Figura 4 - Fases do Reator em Batelada Sequencial. Jordão e Pessoa (2005).



1 – Enchimento: Esgoto bruto alimenta o tanque até o nível estabelecido pelo dimensionamento ou até a disponibilidade de entrada. Os aeradores podem operar ou não.

2 – Reação Biológica: Os aerados são mantidos ligados, garantindo o oxigênio necessário para a degradação da matéria orgânica e a transformação da NH_4 . Para alcançar uma nitrificação e desnitrificação, a aeração deve ser interrompida durante a reação, de forma a prevalecer condições anóxicas por um período de tempo determinado.

3 – Sedimentação: A aeração é desligada e os sólidos em suspensão sedimentam até o nível de lodo determinado no dimensionamento. A concentração de Sólidos totais (ST) no lodo pode alcançar entre 6.000 a 8.000 mg/L.

4 – Retirada do efluente: O efluente tratado é retirado por recalque hidráulico ou vertedor flutuante. É indicado garantir uma altura livre de proteção do clarificado acima do nível de lodo.

5 – Repouso e ajustes: Tempo utilizado para retirada de lodo do reator e realização de ajustes entre ciclos. Pode-se ainda ter uma bomba hidráulica para recalque do lodo de forma automatizada, através de sensores de níveis (em geral, bóias).

Metcalf & Eddy (2003) sugere que a porcentagem de tempo de cada etapa, em relação ao tempo de ciclo total, seja: enchimento = 25%; reação = 35%; sedimentação = 20%; decantação = 15%; repouso = 5%.

Ainda, segundo Metcalf & Eddy (2003), a remoção do nitrato pode ser feita por diversas formas. Pode-se fazer a redução do nitrato na fase de enchimento com mistura, ou pela aeração cíclica, alternando entre fases aeróbias e anóxicas, ou ainda, operando o sistema com baixa concentração de oxigênio dissolvido, a fim de proporcionar nitrificação e desnitrificação simultaneamente.

A forma mais eficiente de remoção do nitrato-n é pelo processo de desnitrificação durante um período com mistura sem aeração. O nitrato produzido pelo ciclo aeróbio permanece no tanque. O restante de massa de nitrato do ciclo anterior, pode ser reduzida durante as fases de enchimento e reação, em meio anóxico, e onde existe disponibilidade de carga orgânica (METCALF & EDDY, 2

3.2.4. Lodos Ativados para pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios

O uso de lodos ativados (idade do lodo de 6 a 10 dias) como forma de pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios, por exemplo reatores UASB, é uma excelente alternativa em países tropicais. Nesta configuração, ao invés de se ter o decantador primário tem-se o reator anaeróbio.

O lodo aeróbio excedente gerado no sistema de lodos ativados, ainda não estabilizado, é retornado ao reator UASB para adensamento e digestão, juntamente com o lodo anaeróbio. Visto que a vazão de lodo excedente aeróbio é baixa se comparada a vazão afluyente, não existe problemas operacionais em se implementar este processo (VON SPERLING, 1997).

O tratamento do lodo excedente nesta configuração é feito de forma bastante simples. Não existe necessidade de adensamento ou digestão, apenas uma desidratação. As principais vantagens desta configuração sobre a sistema tradicional e comparado na Tabela 4.

Tabela 4 – Principais vantagens, desvantagens e similaridades do sistema UASB – lodos ativados em relação ao sistema convencional de lodos ativados.

Fonte: Adaptado de VON SPERLING, 1997.

Vantagem	Redução da produção de lodo
	Redução no consumo de energia
	Redução no consumo de produtos químicos para desidratação
	Menor número de unidades diferentes a serem implementadas
	Menor necessidade de equipamentos
	Maior simplicidade operacional
Desvantagem	Menor capacitação para remoção biológica de nutriente (N e P)
	Eficiência similar ao sistema de lodos ativados convencional
	Volume total das unidades similar ao sistema de lodos ativados convencional

3.2.5. Tratamento do lodo

Lodo é o termo designado para os subprodutos sólidos do tratamento de esgotos, ou seja, o resíduo semissólido, pastoso e de natureza predominantemente orgânica, é chamado de lodo de esgoto (ANDRADE, 1999).

Devido à grande quantidade gerada e do custo elevado para gestão, o lodo proveniente de estações de tratamento de esgotos destaca-se como o ponto mais críticos do sistema de tratamento (ANDREOLI, et al., 2006). Os sistemas de tratamento de lodo proveniente de esgotos focam na redução do teor de água, da concentração de material orgânico biodegradável e de microrganismos patogênicos, proporcionando a produção de material sólido e estável, o qual pode ser facilmente transportado e com baixo custo.

As características do lodo são associadas a composição do esgoto bruto e do tipo de sistema de tratamento empregado. Em geral, os sistemas de tratamento que utilizam processos anaeróbios produzem menor volume de lodo em relação aos que utilizam processos aeróbios, além de um lodo com maior estabilização, sendo mais facilmente tratado.

As principais etapas do tratamento do lodo são (VON SPERLING, 1997):

- Adensamento: remoção de umidade;
- Estabilização: remoção da matéria orgânica;
- Condicionamento: preparação para desidratação;
- Desidratação: remoção de umidade;
- Disposição final: destinação final dos subprodutos.

As principais diferenças no processo de tratamento do lodo entre o sistema de lodos ativados convencional e aeração prolongada são:

- Os sistemas de aeração prolongada não produzem lodo primário;
- Os sistemas de aeração prolongada produzem menos lodo secundário;
- Os sistemas de aeração prolongada não necessitam de etapa de estabilização do lodo;
- Os sistemas de lodos ativados como pós-tratamento de reatores anaeróbios possuem sistema de retorno de lodo excedente aeróbio para o reator anaeróbio, onde o mesmo é adensando e digerido em conjunto com o lodo anaeróbio.

3.2.6. Comparação entre variantes do processo de lodos ativados

A seguir é apresentado uma comparação entre as variantes do processo de lodos ativados. A seleção da idade do lodo é a principal etapa no projeto de uma estação de lodos ativados, pois diversas variáveis de projeto estão diretamente relacionados a este parâmetro. A decisão de determinar a idade do lodo consiste em enquadrar a mesma de acordo com as faixas operacionais adequadas.

Tabela 5 – Vantagens e desvantagens das variantes mais comuns dos sistemas de lodos ativados. Fonte: Adaptado de VON SPERLING, 1997.

Sistema	Vantagens	Desvantagens
Lodos Ativados Convencional	Elevada eficiência na remoção de DBO	Baixa eficiência na remoção de coliformes
	Nitrificação usualmente obtida	Elevados custos de implantação e operação
	Possibilidade de remoção biológica de N e P	Elevado consumo de energia
	Baixos requisitos de área	Elevado índice de mecanização
	Flexibilidade operacional	Relativamente sensível a descargas tóxicas
	Reduzida possibilidade de maus odores	Necessidade de tratamento de lodo
Aeração prolongada	Idem lodos ativados	Baixa eficiência na remoção de coliformes
	Sistema de maior eficiência na remoção da DBO	Elevados custos de implantação e operação
	Nitrificação consistente	Sistema de maior consumo de energia
	Simplicidade operacional	Necessidade de remoção da umidade do lodo
	Estabilização do lodo no próprio reator	
	Elevada resistência a variação de cargas	
Reator em batelada sequencial	Elevada eficiência na remoção de DBO	Baixa eficiência na remoção de coliformes
	Baixos requisitos de área	Maior potência instalada que os demais sistemas
	Menos equipamentos que os demais sistemas de lodos ativados	Usualmente mais competitivo para populações pequenas
	Flexibilidade operacional (através da variação dos ciclos)	
	Não há necessidade de decantador secundário	

As principais características do sistema de lodos ativados de acordo com sua variante é apresentada na Tabela 6.

Tabela 6 – Principais características do Sistema de lodos ativados de acordo com suas variantes. Fonte: Adaptado de VON SPERLING, 1997.

Geral	Parâmetro	Modalidade		
		Convencional	Aeração Prolongada	UASB-lodos ativados
Idade do lodo	Idade do lodo (d)	4-10	18-30	6-10
Relação A/M	Relação A/M (kgDBO/kgSSVTA.d)	0,25 a 0,50	0,07 a 0,15	0,25 a 0,40
Eficiência de remoção	DBO (%)	85-95	93-98	85-95
	DQO (%)	85-90	90-95	83-90
	Sólidos em suspensão (%)	85-95	85-95	85-95
	Nitrogênio (%)	25-30	15-25	15-25
	Fósforo (%)	25-30	10-20	10-20
	Coliformes (%)	60-90	70-95	70-95
Área requerida	Área (m ² /hab)	0,2-0,3	0,25-0,35	0,2-0,3
Volume total	Volume (m ³ /hab)	0,10-0,15	0,10-0,15	0,10-0,12
Energia	Potência Instalada	2,5-4,5	3,5-5,5	1,8-3,5
	Consumo energético (kWh/hab.ano)	18-26	20-35	14-20
Volume de lodo	A ser tratado - (L lodo/hab.d)	3,5-8,0	3,5-5,5	0,-1,0
	A ser disposto - (L lodo/hab.d)	0,10-0,25	0,10-0,25	0,05-0,15
Custos	Implantação (R\$/hab)	80-150	70-120	60-100
	Operação (R\$/hab)	10-18	10-18	7-12

3.3. Reator UASB

3.3.1. Descrição preliminar

Os Reatores de manta de lodo, conhecidos também como Reatores UASB (Upflow anaerobic sludge blanket reactor), são unidades de tratamento anaeróbio, compactos, com reduzido tempo de detenção hidráulica (4 a 10h). São utilizados para o tratamento de esgotos em climas quentes (geralmente em países tropicais), e de efluentes industriais ($SST < 6.000 \text{ mg/L}$).

Nesta tecnologia de tratamento o fluxo de esgotos é vertical e ascendente, atravessando um leito de lodo denso. Os sólidos no reator apresentam-se de maneira variável, sendo bastante denso próximo ao fundo (leito de lodo), onde se localiza a maior parte da carga orgânica, e mais disperso e leve no topo do reator (manta de lodo).

O esgoto afluente entra continuamente pelo fundo do reator através de um sistema de distribuição, ascende pela manta de lodo onde ocorre a digestão anaeróbia, alcançando finalmente o decantador. Abaixo do decantador o esgoto e gás são separados (separador trifásico), garantindo a sedimentação de partículas, permitindo que o lodo retorne para a parte inferior do reator, e a captação do biogás (CHERNICHARO, 1997).

No caso de esgoto doméstico, o processo é dimensionado por meio de critérios hidráulicos, o que resulta em cargas orgânicas volumétricas na faixa de 2,5 a 3,5 kgDQO/m³.d (CAMPOS, 1999). No final do processo, o efluente tratado sai do reator pela parte superior, junto ao compartimento de decantação.

O projeto para Reatores UASB é bastante simples, não necessitando de qualquer equipamento sofisticado ou de meios suporte para retenção da biomassa. No Brasil utiliza-se esta tecnologia no âmbito do tratamento de esgotos domésticos. Contudo, na Europa este tipo de reator é utilizado somente no tratamento de efluentes com alta carga orgânica (p.e. cervejarias).

A digestão anaeróbia a partir dos reatores de manta de lodo, quando comparado aos processos aeróbios convencionais, apresenta uma infinidade de vantagens, especialmente verificadas em ambientes de clima quent. Pode-se esperar nestes cenários as seguintes características:

- Sistema compacto, baixa demanda de área;
- Baixo custo de implantação e operação;
- Baixa produção de lodo;
- Baixo consumo de energia;

- Eficiência de remoção de DQO e DBO satisfatórias, em torno de 65 a 75%;
- Facilidade operacional e de reinício, mesmo quando paralisado por longo período de tempo;
- Elevada concentração e satisfatória desidratabilidade do lodo excedente.
- Geração de biogás com potencial energético.

Contudo, CHERNICHARO (1997) destaca algumas desvantagens dos reatores UASB são atribuídas aos mesmos:

- Possível geração de maus odores;
- Baixa capacidade de absorver cargas tóxicas;
- Tempo elevado para partida do sistema;
- Necessidade de pós-tratamento.

Para esgotos domésticos, os níveis de enxofre e materiais tóxicos são usualmente baixos, sendo facilmente toleráveis pelo sistema de tratamento. Portanto, a presença de mau cheiro ou falhas no tratamento não devem ser observados no reatores UASB quando bem projetados.

A partida do sistema pode ser lenta (4 a 6 meses) quando não utilizados inóculos. Usualmente, tem sido aplicado rotinas operacionais que proporcionam uma redução no tempo de partida do reator UASB. De acordo com Chernicharo & Borges (1996), quando se foram utilizados pequenas quantidades de inóculo (menor que 4% do volume do reator), o período de partida foi reduzido a 2 ou 3 semanas.

3.3.2. Descrição do processo de tratamento

A operação se inicia com a inoculação do reator com baixas quantidades de lodo anaeróbio, porem suficientes, e em seguida inicia-se a alimentação do reator com baixa taxa. Esta etapa constitui a partida do sistema. A taxa de alimentação do reator deve ser aumentada de forma progressiva, para garantir o bom desenvolvimento do leito de lodo concentrado (4 a 10%) no fundo do reator. Acima do lodo, situa-se uma zona de crescimento bacteriano mais disperso, onde os sólidos apresentam velocidades de sedimentação mais baixas. Nesta zona, a concentração do lodo varia entre 1,5 e 3 %. O movimento de ascensão das bolhas do biogás e do fluxo de esgotos proporciona a mistura do reator e o carreamento do lodo. Deste modo, é necessário um separador trifásico (gases, sólidos e líquidos)

no topo do reator, de forma a reter o lodo. No entorno superior ao separador trifásico situa-se uma câmara de sedimentação, para que o lodo seja removido da parcela líquida e retornado ao compartimento de digestão, enquanto as partículas mais leves são retiradas juntamente com o efluente final (CHERNICHARO, 1997).

O separador trifásico garante o retorno do lodo e a elevada capacidade de retenção de grandes quantidades de biomassa, sem precisar de qualquer meio suporte. Assim, os reatores UASB apresentam elevados tempos de residência celular (idade do lodo), o que caracteriza os sistemas anaeróbios de alta taxa. As idades de lodo observadas nos reatores UASB são geralmente superiores a 30 dias, proporcionando um lodo excedente já estabilizado (CHERNICHARO, 1997).

Figura 5 – Desenho esquemático de um reator UASB. Fonte: Campos, (2009).



3.3.3. Princípios de operação

Os seguintes princípios de operação devem ser observados para assegurar um bom funcionamento dos reatores UASB:

- Deve existir máximo contato entre biomassa e substrato, proporcionados pelo fluxo ascendente;
- Curtos-circuitos devem ser evitados para garantir tempos de retenção suficientes para a degradação a matéria orgânica;
- O separador trifásico deve ser bem projetado, de forma a liberar o biogás e a massa líquida, retendo os sólidos;
- O lodo deve possuir alta atividade metanogênica específica (AME), e ótima sedimentabilidade.

3.3.4. Configurações usuais de reatores

Os reatores UASB, quando projetados para tratar esgotos de baixa concentração, são dimensionados pelos critérios de carga hidráulica, e não pela carga orgânica. Nessa configuração, a velocidade ascendente do efluente nos compartimentos de digestão e decantação devem garantir que não haja perda da biomassa. Logo, a altura do reator deve ser reduzida para garantir velocidades ascensionais mais baixas (CHERNICHARO, 1997).

Para reatores tratando efluentes industriais, a distribuição do afluente é feita pela base do reator, ao oposto quando se tratando esgotos domésticos que possuem distribuição afluente junto ao topo do reator. Neste caso, deve-se prever seções transversais maiores afim de garantir uma boa sedimentação do lodo nos compartimentos de decantação.

Os reatores UASB, quando projetados para tratar efluentes industriais, usualmente apresentam unidade de equalização, para garantir a operação do reator dentro de faixas de vazão e carga orgânica uniformes (CHERNICHARO, 1997). Semelhante a configuração anterior, uma seção transversal maior pode garantir baixas velocidades ascensionais durante os picos de vazão.

O formato dos reatores pode ser circular ou retangular. Do ponto de vista estrutural, os reatores UASB circulares são mais econômicos, utilizados geralmente para estações que atendem pequena população. Para atender uma população elevado, usualmente utiliza-se de reatores retangulares, de forma a existir o compartilhamento de paredes entre módulos (CHERNICHARO, 1997).

3.3.5. Parâmetros de projeto

3.3.5.1. Preparação do substrato:

O esgoto deve passar por um gradeamento fino ($< 8\text{mm}$ abertura) e por uma eliminação de areia e gordura para evitar a colmatação e a formação de escuma. Para isso, recomenda-se como pré-tratamento uma caixa de areia aerada após um gradeamento de pelo menos 6 mm.

3.3.5.2. Construção e instalação

Levando em consideração a ausência de equipamentos eletromecânicos às premissas, com relação à tecnologia referem-se somente

à construção civil e aos métodos construtivos, com foco na estrutura de concreto armado e proteção contra corrosão. Opcionalmente, alguns elementos, como, por exemplo, o separador trifásico, podem ser confeccionados em materiais não corrosivos e leves, como PVC, plástico e fibra de vidro.

Figura 6 - Separador trifásico. Fonte: CAESB.



3.3.5.3. Eficiência

Na fase de projeto, os condicionantes mais importantes referentes à eficiência de redução de carga orgânica são a temperatura e o tempo de detenção hidráulica. A eficiência na remoção da DBO e DQO pode chegar à ordem de 65 % e 75 %, respectivamente.

3.3.5.4. Custos

Considerando os valores adotados por Chernicharo (2007) para o ano de 2004 e a variação do CUB (custo unitário básico) desde esta data, estima-se um custo de investimento na faixa entre 47 a 78 R\$/hab. Os custos operacionais situam-se na faixa entre 3,77 e 5,28 R\$/hab.a (CHERNICHARO, 2007), levando em consideração a variação do IGP desde 2004.

3.3.5.5. Tamanho, vida útil, tempo de projeto

De acordo com Chernicharo (2000), para facilitar tanto a construção quanto a operação, recomenda-se um volume máximo de 2.500 m³ por reator, sistemas maiores devem ser executados com reatores em paralelo. Mesmo

para pequenos sistemas de tratamento de esgotos domésticos, CHERNICHARO (2000) sugere a adoção de reatores modulados com volumes parciais na ordem de 400 a 500 m³.

A vida útil depende principalmente da qualidade do material, da execução da obra e das medidas contra corrosão. Com relação à duração da elaboração dos projetos e da fase de construção não há fatores particulares que poderiam acarretar em prazos prolongados. O início pode demorar de 4 a 6 meses, quando não for utilizado inóculo. Já pequenas quantidades de inóculo podem reduzir este prazo para 3 semanas.

3.3.6. Maturidade Tecnológica

Para o tratamento de esgotos domésticos a predominância do processo é no Brasil. Outros países de clima quente estão começando a utilizar a tecnologia cada vez mais. Na América Latina tem cerca de 700 reatores para tratamento doméstico (estimativa própria).

3.4. *Digestores anaeróbios de lodo*

Os digestores anaeróbios de lodo são unidades utilizadas num sistema de tratamento de esgotos com o objetivo de estabilizar os lodos primários e secundários. Geralmente, são unidades circulares cobertas, em concreto armado. Possuem paredes de fundo inclinadas para favorecer a sedimentação e retirada dos sólidos mais concentrados (VON SPERLING, 1997). A hidrólise dos sólidos nesta unidade caracteriza a etapa limitante do processo de digestão. Para a otimização da hidrólise os digestores convencionais são aquecidos entre temperaturas de 25 a 35° C. Para proporcionar retenção da biomassa, os digestores anaeróbios de lodo devem ser dimensionados para que o tempo de detenção hidráulico garanta a permanência da biomassa (VON SPERLING, 1997).

3.4.1. Digestor anaeróbio de baixa carga

Este tipo de digestor não possui mecanismos de mistura, constituindo um tanque único, onde ocorrem a digestão, adensamento e formação de sobrenadante simultaneamente. A ausência de mistura faz com que no máximo 50% do volume do digestor seja utilizado efetivamente no processo de digestão, resultando em digestores de grandes volumes para se conseguir boa estabilização.

3.4.2. Digestor anaeróbio de um estágio e alta carga

O digestor de um estágio e alta carga possui mecanismos de mistura e aquecimento, e é operado com taxas de alimentação uniformes de lodos previamente adensados, garantindo uniformidade das condições do tanque (VON SPERLING, 1997). Desta forma, este tipo de digestor proporciona melhor estabilização do lodo e resulta em tanques de menor volume.

3.5. *Análise do custo do ciclo de vida (Life cycle cost analysis)*

Um número crescente de especialistas na atual literatura enfatizam a importância da realização de um estudo de custo do ciclo de vida em projetos de infraestrutura, seja pública ou privada, particularmente quando tal infraestrutura é associada com despesas correntes significativas, como é o caso das estações de tratamento de esgotos.

Custo do ciclo de vida é definido como o custo total de propriedade de um estrutural, maquinário e/ou equipamento, incluindo custos de aquisição, operação, manutenção, reparação e/ou disposição final. A análise do custo do ciclo de vida é uma técnica de avaliação econômica, para estimar o custo total de um projeto desde seu início até o seu fim, com a meta de escolher a abordagem economicamente mais rentável entre um leque de alternativas. (Barringer, 2003).

De acordo com Marques (2010), a análise do custo do ciclo de vida consiste numa ferramenta de apoio à decisão através de uma análise econômica do projeto, podendo ser verificadas diversas propostas, estabelecendo aquela que seja mais vantajosa a partir dos custos totais resultantes.

Além de proporcionar uma avaliação mais precisa do custo de vida de um projeto, a análise do custo do ciclo de vida é usualmente considerada como um componente necessário para tomadas de decisão na esfera do meio ambiente, uma vez que a mesma releva fatores como custos de construção, de energia, de demolição e reciclagem, os quais são tipicamente deixados de fora dos limites tradicionais de sistemas de contabilidade. Os dados de entrada usuais em um estudo de custo do ciclo de vida consistem em custos construtivos de estruturas, administração, custos da locação/terreno, energia, design e desenvolvimento de projeto, manutenção e consumo de energia (Gluch & Baumann, 2004).

Apesar da quantidade significativa de pesquisa e estudos em custo do ciclo de vida, este método não usualmente aplicado, mesmo em países

desenvolvidos. Ao contrário, os custos de aquisição, baseados num simples payback period (período de retorno de investimento), são geralmente definidos como únicos critérios para a seleção de um equipamento ou sistema. Sem a realização de uma análise de custo do ciclo de vida, é difícil demonstrar que a economia com a operação de um determinado investimento é suficiente para justificar maiores custos de investimento inicial (Davis Langton Management Consulting, 2007).

Assim como acontece em outros setores públicos, no Brasil, licitações de obras no setor de saneamento frequentemente seleciona a alternativa que apresenta o menor custo de investimento inicial. Contudo, esta abordagem pode não expressar adequadamente o custo do ciclo de vida, principalmente quando da aquisição de estruturas que tenham consumo intensivo de energia, como é o caso de estações de tratamento de esgotos. Este fato implica que um custo aparentemente baixo de uma alternativa de projeto pode resultar em custos maiores ao longo do período de operação (período do projeto). A escolha incorreta de uma alternativa de tratamento pode resultar em maiores custos operacionais, de reparação, custos elevados de energia, e falhas frequentes na operação, resultando na diminuição da qualidade do efluente tratado.

3.5.1. Definição do projeto e estabelecimento do objetivo

O primeiro passo para realizar uma Análise do Ciclo de Vida é identificar o que deve ser analisado (um edifício, um equipamento, um sistema de equipamentos, por exemplo, de aquecimento ou ventilação), sendo importante compreender o propósito da análise, de forma a poder estabelecer a alternativa mais adequada.

3.5.2. Estimativa dos custos

A estimativa dos custos consiste em utilizar-se de base de dados para obter informações credíveis e apropriadas para os custos em questão. Em muitos projetos estes dados são gerados pelo próprio analista, porem em outros casos estes dados devem ser obtidos por bancos de dados, por exemplo, o SINAP (Sistema Nacional de Preços e Índices para a Construção civil).

3.5.2.1. Sistema Nacional de Preços e Índices para a Construção Civil

O SINAPI - Sistema Nacional de Preços e Índices para a Construção Civil, criado pela Caixa Econômica Federal (CEF), tem por objetivo monitorar o orçamento analítico e a análise orçamentária de projetos

específicos e efetuar o acompanhamento de preços, de custos e de índices da construção civil na área de fomento (habitação, saneamento e infraestrutura urbana) (IBGE, 2014). Os estudos tem periodicidade mensal, sendo a unidade de coleta de dados os fornecedores de materiais de construção e empresas construtoras do setor. O Sistema é mantido em convênio com a Caixa Econômica Federal – CAIXA.

Os principais resultados do SINAPI, relativos às 27 Unidades de Federação e divulgados mensalmente pelo IBGE, são:

- Preços: de materiais de construção em geral;
- Salários: principais categorias profissionais que atuam na construção civil;
- Custos de projetos: residenciais e comerciais;

3.5.3. Classificação dos custos

Os custos de um projeto devem ser classificados da seguinte forma:

- Custos de investimento Inicial: Custos de projeto e planejamento, e custos de implantação (aquisição, instalação e/ou construção);
- Custos do período de utilização: Custos de operação, manutenção, reparação (OM&R) e substituição;

Para os custos de operação são considerados custos de estrutural de pessoal, de energia, de seguros, de segurança e de capacitação de operadores. Deve ser ressaltado que devido a necessidade de alta remoção de nutrientes e outros contaminantes nos esgotos, algumas tecnologias de tratamento podem utilizar maior quantidade de energia. Além disso, os sistemas de coleta de esgotos (redes) apresentam infiltração de águas pluviais, elevando a vazão de entrada na estação de tratamento, e resultando num aumento nos custos de bombeamento e tratamento (EPA, 2010).

Os custos de manutenção incluem manutenção preventiva e corretiva, custos de limpeza e de pintura das instalações.

Os custos de eliminação de um bem poderão ser considerados custos de remoção e de reposição, e os valores de reciclagem ou de revenda, considerados como um benefício, ou seja, um custo de valor negativo. O aproveitamento do biogás como energia de retorno para a operação de uma estação de tratamento é considerado um benefício.

- Custo total: Somatório dos custos de investimento inicial e do período de utilização.

O custo total deve ser calculado a partir dos custos de implantação e custos de OM&R da estação de tratamento de esgotos para o período do projeto estabelecido. A equação a seguir apresenta a fórmula para o custo total.

$$VP = \sum_{t=0}^{30} \frac{(c_{im})_t + (c_{op})_t}{(1+i)^t}$$

VP = valor presente [R\$];

i = taxa de inflação [% a.a];

t = período considerado [anos];

Cim = Custos de implantação;

Cop = Custos de operação anual.

3.5.4. Valor Presente Líquido

O valor presente líquido consiste numa fórmula matemática-financeira que determina o valor presente de pagamentos (custos) futuros descontados a uma taxa de juros apropriada.

3.5.5. Valor temporal do dinheiro (time value of money)

O valor temporal do dinheiro é de extrema importância, principalmente devido a inflação. A elevação contínua dos preços dos bens, produtos e serviços, é responsável por uma constante desvalorização do dinheiro. Portanto, é indispensável considerar a inflação na estimativa de custos, especialmente quando existem financiamentos de longa duração.

3.5.5.1. Inflação

A inflação é utilizada para expressar um aumento no suprimento de dinheiro e na expansão monetária, o qual é a causa do aumento de preços. É um importante fator para os governos dos estados, empresas privadas e consumidores, considerando a influência que exerce nas políticas econômicas e financeiras e no modelo de vida da população.

A inflação é usada popularmente como aumento de preços. Externamente, representa a desvalorização da moeda local frente a outras, e internamente ela significa o aumento do volume de dinheiro e aumento de preços, logo, reduzindo o poder de compra.

É importante ressaltar que quando os custos futuros são representados pelo valor real correspondente ao ano de ocorrência, estes são denominados de custos nominais, ou seja, que refletem o poder de compra no período futuro pois consideram a inflação.

De acordo com o Banco Central do Brasil, a inflação é medida através de diversos índices, apresentados por instituições como o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e a Fundação Getúlio Vargas (FGV). O índice comumente utilizado para expressar a inflação no Brasil é o Índice Nacional de Preços ao Consumidor (IPCA). O IPCA mede a variação mensal dos preços de produtos e serviços consumidos por famílias com renda na faixa de 1 a 40 salários mínimos (BRASIL, 2012). A variação anual da inflação, medida pelo IPCA no Brasil é constatada na Figura 7.

Figura 7 – Variação anual do IPCA no Brasil, no período de janeiro de 2004 até janeiro de 2012. Fonte: Banco Central do Brasil.



Além do IPCA, o Índice Geral de Preços – Mercado (IGP-M) é outro índice que mensura a inflação para matérias primas agrícolas e industriais, bens e serviços no Brasil. Este índice é medido pela Fundação Getúlio Vargas (FGV), sendo referência para expressar os aumentos do preço da energia elétrica e dos contratos de aluguéis. O IGP-M consiste na soma de três outros índices. Sendo os quais:

- Índice de Preços ao Produtor Amplo - Mercado (IPA-M) - 60% do IGP-M; valor referente a produção de bens agropecuários e industriais, em transações comerciais em nível de produtor;
- Índice de Preços ao Consumidor -Mercado (IPC-M) - 30% do IGP-M; valor referente ao setor varejista e de serviços destinados ao consumo de famílias;
- Índice Nacional de Custo da Construção - Mercado (INCC-M) – 10% do IGP-M; valor referente a indústria da construção civil.

Figura 8 – Variação anual do IGP no Brasil, no período de janeiro de 2004 até janeiro de 2012. Fonte: SindusCon-PR (2013).



3.5.6. Período de estudo

O período de estudo compreende o tempo ao longo do qual os custos e os benefícios associados ao projeto são analisados. Para o cálculo do custo total do ciclo de vida, o mesmo período é estabelecido para todas as alternativas. Este período será de 30 anos.

4. METODOLOGIA

Este trabalho pretendeu identificar qual sistema de tratamento de esgotos, a partir de três alternativas de tratamento por lodos ativados, é o mais econômico. A comparação das alternativas neste trabalho se desenvolvem através de indicadores de desempenho. Desta forma, faz-se o dimensionamento de cada alternativa, levanta-se os custos de implantação e OM&R, aplica-se o cálculo do custo do ciclo de vida, podendo então construir indicadores que indicam as parcelas de custos durante o período de projeto.

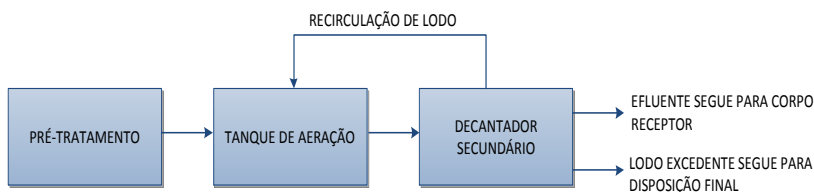
4.1. Descrição das alternativas

Para a realização deste trabalho foram consideradas as seguintes alternativas:

4.1.1. Lodo Ativado com Aeração Prolongada (LAAP)

O sistema de lodos ativados com aeração prolongada é caracterizado pela permanência de biomassa durante um período maior do que o convencional (adotado 20 dias). No sistema de lodos ativados com aeração prolongada, a estabilização do lodo ocorre no próprio reator, ou seja, estabilização aeróbia, fazendo com que esta configuração não necessite de decantador primário ou de digestor de lodo.

Figura 9 – Fluxograma alternativa LAAP.

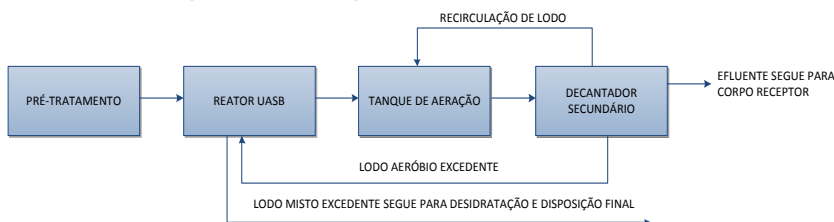


A eficiência de remoção de DQO é de 90%, sendo boa eficiência na nitrificação e potencial alta eficiência na desnitrificação. A grande vantagem do sistema está na simplicidade de operação. Além disso, pode ser assegurada uma desnitrificação satisfatória com operação adequada. Contudo, essa alternativa não apresenta potencial de produção de energia, pois não possui etapa anaeróbia com produção de biogás, e o consumo de energia é muito alto devido a aeração prolongada.

4.1.2. Reator UASB seguido por Lodo Ativo Convencional (UASB-LAC)

A alternativa de utilização de reator UASB seguido de Lodo Ativo Convencional (idade de lodo de 10 dias) já é bem difundida no cenário atual de saneamento no Brasil. Nesta configuração, ao invés de ter-se decantador primário, faz-se uso do reator UASB. A eficiência de remoção de DQO é de 90%. O lodo excedente ainda não estabilizado é retornado ao reator UASB para sua estabilização anaeróbia, juntamente com o lodo anaeróbio já presente no reator. Para o tratamento do lodo, é necessária apenas a desidratação do mesmo.

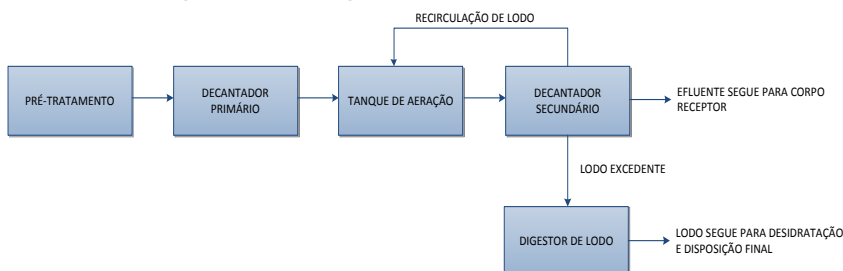
Figura 10 – Fluxograma alternativa UASB-LAC.



4.1.3. Lodo Ativo Convencional e Digestor de Lodo (DP-LAC-DL)

Nesta concepção, utiliza-se um decantador primário para remoção de parcela da matéria orgânica sedimentável, seguido de Lodo Ativo Convencional (idade de lodo de 10 dias), de forma que a biomassa retirada no lodo excedente necessite de uma unidade de estabilização anaeróbia do lodo, sendo esta, o digestor de lodo.

Figura 11 – Fluxograma alternativa DP-LAC-DL.



A eficiência de remoção de DQO é de 90% sendo boa eficiência na nitrificação e potencial de alta eficiência na desnitrificação. Existe potencial de produção de energia a partir do biogás gerado no digestor de lodo.

4.2. Dimensionamento

O dimensionamento das alternativas de tratamento foram realizados com base na metodologia de cálculo apresentada por Von Sperling (1997) e CHERNICHARO (1997). Para o dimensionamento das alternativas apresentadas neste trabalho, foi adotado o sistema convencional em duas alternativas e por aeração prolongada em outra alternativa. O âmbito do estudo consiste em compreender os custos associados à escolha da idade de lodo de cada alternativa, de forma a identificar em quais tipos de custos cada alternativa é economicamente superior.

As características do esgoto doméstico, cargas orgânicas e vazão de projeto para uma população de 100.000 habitantes são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Características do esgoto e vazão de projeto

Parâmetro	Valor	Equação
População Atendida (hab)	100.000	-
Consumo per capta (l/hab.d)	160	-
Coefficiente de vazão máxima diária (k₁)	1,2	-
Coefficiente de vazão máxima horária (k₂)	1,5	-
DBO (Kg/d)	5.400	Pop x (54 g/hab.dia ⁱ)/1000
DQO	11.000	Pop x (110 g/hab.dia ⁱⁱ)/1000
NTK	1.100	Pop x (11 g/hab.dia ^{iv})/1000
P	200	(Q _{MED} x 20 mg/l ^{iv})/1000
ST	6.000	Pop x (60 g/hab.dia ⁱ)/1000
Qmédia (m³/d)	16.000	(Pop x C)/1000
Qinfiltração (m³/d)	4.800	Adotado
Qmáxima (m³/d)	28.800	Qesgoto x (k ₁) x (k ₂)
Qtotal (m³/d)	33.600	Qmáxima + Qinfiltração

- i. Conforme NBR 12.209 (ABNT, 1992)
- ii. Conforme VON SPERLING (1997)
- iii. Conforme NBR 9.649 (ABNT, 1986)
- iv. Adotado

Note que os parâmetros de carga orgânica são menores para as alternativas UASB-LAC e DP-LAC-DL, visto a unidade de tratamento primário (reatores UASB) e a existência de decantador primário que estas configurações possuem respectivamente.

4.2.1. Metodologia de cálculo para dimensionamento de Reatores UASB

O Tempo de detenção hidráulica adotado para o dimensionamento do reator UASB na alternativa UASB-LAC é de 8 horas.

Cálculo do Volume dos Reatores UASB

$$V = Q \cdot t$$

onde:

V = volume total [m³];

Q = vazão média [m³/h];

t = tempo de detenção hidráulica [h].

O número de reatores é adotado de 2 reatores.

Portanto, o cálculo do volume por reator é determinado pela seguinte equação:

$$V_r = V/N_r$$

onde:

V_r = volume por reator [m³/h];

V = volume total [m³/h];

N_r = número de reatores.

A altura dos reatores deve ser adotada, de forma a determinar uma área superficial que proporcione boa velocidade superficial. Os reatores serão retangulares.

Cálculo da área de cada reator

$$A_r = \frac{V_r}{H}$$

onde:

A_r = área por reator [m²];

V_r = volume por reator [m³/h];

H = altura do reator [m].

Cálculo da eficiência de remoção de DBO e DQO

$$E_{DBO} = 100 \cdot (1 - 0,70 \cdot t^{-0,50})$$

$$E_{DQO} = 100 \cdot (1 - 0,68 \cdot t^{-0,35})$$

onde:

E_{DBO} = eficiência do reator UASB em termos de remoção de DBO [%];

E_{DQO} = eficiência do reator UASB em termos de remoção de DQO [%];

t = tempo de detenção hidráulica [h].

Cálculo da produção de biogás

$$DQO_{CH_4} = Q \cdot (S_0 - S) - Y_{obs} \cdot Q \cdot S_0$$

onde:

DQO_{CH_4} = Carga de DQO convertida em metano [kg_{DQOCH_4} / d];

Q = Vazão de esgoto afluente [m^3/d];

S_0 = Concentração de DQO afluente [kg_{DQO} / m^3];

S = Concentração de DQO efluente em [kg_{DQO} / m^3];

Y_{obs} = Coeficiente de produção específica de sólidos no sistema [$kg_{DQO \text{ lodo}} / kg_{DQO \text{ apl.}}$]

A produção volumétrica de metano é calculada por:

$$Q_{CH_4} = \frac{DQO_{CH_4}}{K_{(T)}}$$

Sendo o fator de correção para a temperatura operacional do reator determinado por:

$$K_{(T)} = \frac{p \cdot K}{R \cdot (273 + T)}$$

onde:

$K_{(T)}$ = Fator de correção para a temperatura operacional do reator [kg_{DQO} / m^3];

p = pressão atmosférica [atm];

K = COD correspondente a um mol de $CH_4 = 64$ [g_{DQO} / mol];

R = Constante universal dos gases

T = Temperatura operacional do reator – adotado 20 °C

A partir da produção teórica e do teor de metano, pode ser calculado a produção de biogás por:

$$Q_{biogás} = \frac{Q_{CH_4}}{C_{CH_4}}$$

onde:

$Q_{biogás}$ = Produção volumétrica de biogás [m³/d];

Q_{CH_4} - Produção volumétrica de metano [m³/d];

C_{CH_4} - Concentração de metano no biogás [%vol].

Adota-se concentração de 75% de metano no biogás.

Cálculo da produção de lodo

$$P_{lodo} = Y \cdot CO_{DQO}$$

onde:

P_{lodo} = produção de sólidos no sistema [kgSST/d];

Y = coeficiente de sólidos no sistema [kgSST/kgDQO_{aplicada}];

CO_{DQO} = carga de DQO aplicada ao sistema [kgDQO/d].

4.2.2. Metodologia de cálculo para dimensionamento de lodos ativados

A seleção da idade do lodo é a principal etapa no projeto de uma estação de lodos ativados, pois diversas variáveis de projeto estão diretamente relacionados a este parâmetro (VON SPERLING, 1997). A escolha da idade do lodo foi feita de forma a condizer com a alternativa de processo de lodos ativados escolhido. De fato, para atingir um refinamento da escolha da idade de lodo ideal para cada alternativa é necessário estudos econômicos e comparações entre alternativas.

a) Decantador Primário

O decantador primário pode ser dimensionado a partir da taxa de aplicação superficial.

$$A = Q/TAS$$

onde:

A = área superficial do decantador [m²];

TAS = taxa de aplicação superficial [m³/m².d];

Q = vazão [m³/d].

A eficiência de remoção de poluentes é estabelecida a seguir:

DBO₅ = 30%

SS = 60%

NTK = 20%

As cargas e concentrações de entrada no reator podem ser calculadas pelas seguinte equação:

$$Carga_{efluente} = Carga_{afluente} \cdot \frac{(100 - Eficiência)}{100}$$

Deve-se ressaltar que há decantador primário apenas em uma das alternativas de lodos ativados sugeridas neste estudo.

b) Reator Biológico

Cálculo da Concentração de Sólidos em Suspensão no reator

$$X_v = \frac{Y \cdot (S_o - S)}{1 + K_d \cdot f_b \cdot \theta_c} \cdot \left(\frac{\theta_c}{t}\right)$$

onde:

X_v = concentração de biomassa [mg/L];

Y = coeficiente de produção celular [gSSV/gDBO₅];

θ_c = idade de lodo [d];

$S_o - S$ = concentração de massa do substrato utilizado [mg/L];

f_b = fração biodegradável;

K_d = coeficiente de respiração endógena [d^{-1}].

Cálculo da DBO solúvel do efluente final

$$X_{vefluente} = \left(Relação \frac{SSV}{SS} \right) \cdot X_{efluente}$$

$$f_b = \frac{f_b'}{1 + (1 - f_b') \cdot K_d \cdot \theta_c}$$

$$X_{befluente} = f_b \cdot X_{vefluente}$$

$$DBO_{5 \text{ suspensão}} = \frac{(DBO_u / X_b) \cdot X_{befluente}}{(DBO_u / DBO_5)}$$

$$DBO_{5 \text{ solúvel}} = DBO_{5 \text{ total}} - DBO_{5 \text{ suspensão}}$$

Cálculo de eficiência de remoção de DBO

$$E = (DBO_{afluente} - DBO_{efluente}) \cdot 100 / DBO_{afluente}$$

Cálculo da remoção da carga de DBO₅ na etapa biológica

$$\begin{aligned} S_r &= Q_{média} \cdot (DBO_{total\ afluente} - DBO_{solúvel\ efluente}) \\ &= Q \cdot (S_0 - S) / 1000 \end{aligned}$$

Cálculo do Volume do reator

$$V = \frac{Y \cdot \theta_c \cdot (S_0 - S)}{X_v \cdot (1 + f_b \cdot K_d \cdot \theta_c)}$$

onde:

V = volume do reator [m³/d];

Y = coeficiente de produção celular [gSSV/gDBO₅];

θ_c = idade de lodo [d];

$S_0 - S$ = concentração de massa do substrato utilizado [mg/L];

X_v = concentração de biomassa [mg/L];

f_b = fração biodegradável;

K_d = coeficiente de respiração endógena [d^{-1}].

$$V_{por\ reator} = \frac{V}{n^{\circ}_{reatores}}$$

A profundidade dos reatores foi adotada para cada configuração de lodos ativados de forma a respeitar a relação L/B estabelecida. Para o dimensionamento da área dos tanques de aeração, é estabelecida uma relação L/B = 3.

Cálculo do tempo de detenção hidráulica

$$t = \frac{V}{Q}$$

onde:

t = tempo [h];

V = volume [m³];

Q = vazão [m³/h].

Cálculo da Relação A/M (Alimento/Microrganismo)

$$U = \frac{\text{Carga DBO afluente reator}}{X_v \cdot V}$$

Cálculo de remoção de lodo excedente por linha de recirculação de lodo

Carga SS a ser removido: $SS_{total} - SS_{efluente}$

Concentração: $SSLR = SSTA \cdot (1 + 1/R)$

Volume removido por dia: $Q = \text{carga}/\text{concentração}$

onde:

$SSTA$ = Sólidos em suspensão no tanque de aeração [mg/L]

R = Razão de recirculação

Cálculo da massa de oxigênio necessária para oxidação do substrato e para respiração endógena

$$M = a' \cdot Q \cdot (S_o - S) + b' \cdot X_v \cdot V$$

onde:

M = massa de oxigênio necessária [mgO₂/d];

$a' = 1,46 - 1,42 \cdot Y$;

Q = vazão afluente [L/d]

S_o = DBO afluente [mg/L];

S = DBO efluente [mg/L];

$b' = 1,42 \cdot f_b \cdot K_d$;

X_v = concentração de biomassa [mg/L];

V = volume do reator [L].

Cálculo da taxa de transferência de oxigênio

$$TTO_{padrão} = \frac{TTO_{campo}}{\frac{\beta \cdot f_H \cdot C_S - C_L}{C_S(20^\circ C)} \cdot \alpha \cdot \theta^{T-20}}$$

onde:

$TTO_{padrão}$ = taxa de transferência de oxigênio nas condições padrão (água limpa, temperatura do líquido = 20°C, nível do mar, sistema de aeração instalado em um tanque teste) [kgO₂/h];

TTO_{campo} = taxa de transferência de oxigênio nas condições de campo

(esgoto, temperatura real do líquido, altitude da estação, sistema de aeração instalado no reator real) [kgO₂/h];

C_s = concentração de saturação de oxigênio na água limpa para as condições de campo [g/m³];

C_L = concentração média de oxigênio mantida no reator [usual = 1,5-2,0 g/m³];

fH = fator de correção do C_s para a altitude da estação;

β = fator de correção do coeficiente de transferência de oxigênio em relação a presença de sais;

α = fator de correção do coeficiente de transferência de oxigênio em relação às características do esgoto;

θ = coeficiente de temperatura [valor usual = 1,024];

T = Temperatura do líquido [°C].

Cálculo da Potência requerida por sopradores de ar

$$P = \frac{Q_{ar} \cdot \rho \cdot g \cdot (d_i + \Delta H)}{\eta}$$

onde:

P = potência requerida [W];

Q_{ar} = vazão real de ar requerida [m³ ar/d];

ρ = peso específico do líquido [1000 kg/m³];

g = aceleração da gravidade [9,81 m/s²];

d_i = profundidade de imersão dos difusores [m];

ΔH = perda de carga no sistema de distribuição de ar [m];

η = eficiência do soprador [Usual = 60%].

c) Decantador Secundário

O decantador secundário pode ser dimensionado a partir da taxa de aplicação superficial.

$$A = Q/TAS$$

onde:

A = área superficial do decantador [m²];

TAS = taxa de aplicação superficial [m³/m².d];

Q = vazão [m³/d].

4.2.3. Metodologia de cálculo para dimensionamento de digestores de lodo

Para este estudo optou-se pelo digestor anaeróbio de um estágio e alta carga, de formato cilindro e base cônica, com sistema de aquecimento e mistura.

Cálculo do volume do digestor de lodo

$$V_{digestor} = Q_{lodo} \cdot TRS$$

onde:

V = volume do digestor [m³];

Q = vazão de lodo [m³/d];

TRS = tempo de retenção de sólidos [d].

O tempo de retenção de sólidos adotado é de 25 dias.

Cálculo da taxa de aplicação de sólidos

$$TA_{sv} = \frac{L_{sv}}{V}$$

onde:

TA_{sv} = taxa de aplicação de sólidos voláteis [kgSV/m³.d];

L_{sv} = carga de sólidos voláteis [kgSV/d];

V = volume do digestor [m³].

Cálculo do volume do cone de fundo

$$V_{cone} = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot h$$

onde:

V_{cone} = volume do cone [m³];

D = diâmetro da base [m];

h = altura do cone [m].

Cálculo da produção de biogás

Mesma metodologia de cálculo utilizada para estimar a produção de biogás no reator UASB.

4.3. Aproveitamento do biogás

Para estimar o aproveitamento de biogás foi considerado uma concentração de 65% de metano no biogás, portanto, a energia de trabalho consiste em 6,5 kWh/m³. Foi assumido uma perda no sistema de coleta, tratamento e geração de energia, de 15%, e ainda, a eficiência do motor-gerador de energia elétrica de 36%.

Cálculo do volume efetivo de biogás

$$V_e = 0,85 \cdot V_{biogás}$$

onde:

V_e = Volume efetivo de biogás [m³];

$V_{biogás}$ = Volume de biogás inicial [m³].

Cálculo da energia disponível

$$E_d = V_e \cdot 6,5$$

onde:

E_d = Volume de biogás inicial [kWh/d];

V_e = Volume efetivo de biogás [m³].

Cálculo da energia elétrica diária disponível

$$E_e = E_d \cdot 36\%$$

onde:

E_e = Energia elétrica diária disponível [kW].

E_d = Volume de biogás inicial [kWh/d];

4.4. Custos

Este estudo da avaliação de custo do ciclo de vida de 3 alternativas de tratamento com lodos ativados possui condicionantes que estabelecem

limites de custos. Os custos levantados compreendem os custos de implantação e os custos do período de utilização (substituição de equipamentos, consumo de energia e disposição de lodo em aterro). O período de projeto estabelecido para este estudo é de 30 anos.

Figura 12 – Período de projeto do estudo do custo de ciclo de vida.



4.4.1. Levantamento e estimativa de custos

Custos de Implantação

Os custos de implantação que foram contabilizados neste estudo compreendem o custo com a construção civil das unidades de tratamento de esgotos e os equipamentos necessários para sua devida operação. Os custos com construção civil abrangeram os custos de materiais e mão-de-obra para construção de todas as unidades de tratamento com exceção do digestor de lodo, que consiste num tanque de aço vitrificado montado em cima de uma base de concreto estrutural. Deve-se ressaltar que as unidades auxiliares como a casa de operação, edifício de administração, estação elevatória de lodo, esgotamento pluvial, deverão ter as mesmas dimensões em todas as alternativas, deste modo, não serão incluídos na avaliação econômica.

Quantitativo civil

Para a realizar a quantificação da estrutura civil das alternativas, foram adotados os seguintes critérios:

- Espessura de parede = 0,25 m;
- Espessura da base = 0,25;
- Espessura da laje fundação = 0,20

Concreto: Foi utilizado como referência o uso de concreto usinado bombeado $f_{ck} = 30\text{MPa}$, inclusive lançamento e adensamento, sendo R\$360,01 o valor unitário por m^3 (SINAPI - 74138/004).

Armadura (aço): Foi utilizado como referência o uso de aço CA-60, considerando fornecimento, corte (c/ perda de 10%), dobra e colocação, sendo R\$6,72 o valor unitário por kg. Foi considerado o uso de 80kg de aço por m^3 de concreto (SINAPI - 73942/001).

Formas: Foi utilizado como referência o uso de forma para estruturas de concreto em chapa de madeira compensada resinada, de 1,10 x 2,20, e = 12 mm. 3 utilizações (fabricação, montagem e desmontagem), sendo R\$32,60 o valor unitário por m^2 . Foi considerado o uso de 12 m^2 de forma por m^3 de concreto (SINAPI – 84215).

Cimbramento: Foi utilizado como referência a execução de cimbramento para escoramento de formas elevadas de madeira (lajes e vigas), acima de 3,30 m de pé direito, com pontaletes (8x8 cm) de madeira de lei 1A qualidade e peças de madeira de 2,5x10 cm de 2A qualidade, não aparelhada (SINAPI-73685).

Impermeabilização: Foi utilizado como referência a impermeabilização com pintura a base de resina epóxi alcatrão, duas de mãos, sendo R\$44,28 o valor unitário por m^2 (SINAPI-73872/002).

Aquisição de equipamentos

O valor unitário para os equipamentos utilizados nas alternativas de tratamento foram cotados com empresas especializadas no setor de saneamento. A proposta de cada equipamento apresentou dados de potência permitindo assim estimar o consumo energético dos mesmos.

É importante ressaltar que os custos com unidades de desaguamento, como por exemplo, filtros-prensa, não foram considerados para este estudo, visto que estas unidades consistem em custos de implantação comum a todas as alternativas. Os custos de implantação são apresentados na

Tabela 15.

Custos OM&R

Os custos de operação neste estudo consistem nos gastos com energia elétrica, substituição de equipamentos ao longo do período de projeto estabelecido, e transporte e disposição final de lodo. Gastos de manutenção

não serão considerados devido à complexidade e baixa confiabilidade de dados para estimar estes custos.

Consumo de energia elétrica

Os gastos com energia elétrica foram estimados a partir da tarifa de consumo da CELESC para empreendimento de saneamento, estabelecidos pela Resolução homologatória nº 1.170, de 05 de agosto de 2014, vide subgrupo B3 (Água, Esgoto e Saneamento), sendo o valor da tarifa para consumo de 0,3004665 R\$ /kWh.

Custos de substituição

Os custos de substituição de equipamentos foram estimados de acordo com a vida útil de cada equipamento. Não foi considerado o valor residual de cada equipamento, de modo que o valor de revenda de equipamentos não entra como valor positivo no fluxo de caixa. A vida útil de cada equipamento é estabelecida na Tabela 16.

Custos de coleta, transporte e disposição de lodo

Os custos de disposição de lodo neste estudo consistiram no custo de coleta, transporte e disposição final em aterro industrial. De acordo com consulta pessoal a empresa Rotária do Brasil, o valor adotado para coleta e transporte de lodo foi de R\$40,00 por m³ de lodo. É importante ressaltar que este valor deve variar em função da distância percorrida pelo caminhão de coleta. Para a disposição em aterro industrial, o valor adotado foi de R\$110 por m³, fornecido pela empresa Santec, situada em Içara, Santa Catarina. Estes valores são referentes para coleta, transporte e disposição de lodo com teor de sólidos de 25%. O custo total para coleta, transporte e disposição final resultou em R\$150,0. O custos de operação são apresentados na Tabela 17.

5. RESULTADOS

5.1. Resumo do Dimensionamento

As tabelas a seguir apresentam o resumo do dimensionamento feito para as alternativas propostas.

Tabela 8 - Dimensionamento do Decantador Primário, alternativa DP-LAC-DL.

Decantador Primário	
Características	Alternativa
	DP-LAC-DL
Área requerida (m²)	1.218
Número de decantadores (-)	2
Área por decantador (m²)	609
<i>Dimensões</i>	
Diâmetro (m)	28
Área adotada para cada decantador (m²)	616
Área total (m²)	1.232
Altura da parede lateral (m)	3,5
Profundidade da parte cônica (m)	1,12
Delividade de fundo (V/H) (%)	8
Volume por decantador (m³)	2.385
Volume total (m³)	4.770
<i>Tempos de detenção (h)</i>	
Para Qmédia	2,8
Para Qmáxima	1,7
<i>Taxas de aplicação superficial (TAH)</i>	
Para Qmédia	0,7
Para Qmáxima	1,14
<i>Taxa de aplicação de sólidos (TAS)</i>	
Para Qmédia	2,81
Para Qmáxima	4,55
<i>Taxa de vertedor (m³/m.h)</i>	
Para Qmédia	5,1

Para Q_{máxima}

8,3

Tabela 9 - Dimensionamento do reator UASB, alternativa UASB-LAC.

Reator UASB	
Características	Alternativa UASB-LAC
DBO_afluente	5.400
DQO_afluente	11.000
Tempo de detenção (h)	8
Volume total (m³)	7.000
Número de reatores (-)	2
Volume por reator (m³)	3.500
Dimensões	
Altura do reator (m)	5,6
Área por reator (m²)	625
Comprimento (m)	25
Largura (m)	25
Área total (m²)	1.250
Carga Orgânica Volumétrica (kgDQO/m³.d)	1,57
Velocidade ascensional p/ Q_{med} (m/s)	0,7
Lodo	
Produção de lodo (kgST/d)	2.205
Vazão lodo (m³/d)	54
Lodo Desidratado (torta)	
Volume diário (m³/d)	8,82
Biogás	
Produção de biogás (m³/d)	4.850

É importante ressaltar que o lodo nesta unidade compreende o lodo anaeróbico, ou seja, o lodo misto será a soma do lodo anaeróbico e do lodo aeróbico do tanque de aeração retornado para o reator UASB.

Tabela 10 – Dimensionamento do reator biológico da unidade de Lodos Ativados.

Reator Biológico			
Características	Alternativa		
	LAAP	UASB-LAC	DP-LAC-DL
Idade do lodo (d)	20	10	10
DBO_afluente (kg/d)	5.400	1.350	3.780
DQO_afluente (kg/d)	11.000	3.300	11.000
SST (kg/d)	6.000	1.200	2.400
SSVTA (mg/l)	4.000	1.500	4.000
<i>Dimensões</i>			
Volume total (m³)	23.400	4.850	11.700
Número de reatores (-)	3	3	3
Volume por reator (m³)	7.800	1.617	3.900
Comprimento (m)	62	35	30
Largura (m)	21	12	22
Área por reator (m²)	1.302	420	650
Profundidade (m)	6	6	6
Tempo de detenção (h)	27	7	13
Razão de recirculação do lodo (-)	0,90	0,90	0,90
<i>Aeração</i>			
Eficiência de oxigenação (kgO₂/kWh)	1,8	1,8	1,8
Potência requerida (cv)	815	435	497
Potência requerida p/ cada reator (cv)	272	145	166
Número de aeradores por reator (-)	6	3	4
Potência adotada dos aeradores (cv)	50	50	50
Potência instalada por reator (cv)	300	150	1.650
Número total de aeradores (-)	18	9	12
Potência instalada total (cv)	900	450	600
<i>Lodo Excedente</i>			
Vazão (m³/d)	648	130	272
Carga (kgSST/d)	5.400	1.080	2.268
Lodo Desidratado (torta) (m³/d)	21,6	2,64	9,07

Tabela 11 – Dimensionamento do Decantador Secundário.

Decantador Secundário			
Características	Alternativa		
	LAAP	UASB-LAC	DP-LAC-DL
Área requerida (m²)	1.218	1.218	1.218
Número de decantadores (-)	2	2	2
Área por decantador (m²)	609	609	609
<i>Dimensões</i>			
Diâmetro (m)	28	28	28
Área adotada para cada decantador (m²)	616	616	616
Área total (m²)	1.232	1.232	1.232
Altura da parede lateral (m)	3,5	3,5	3,5
Profundidade da parte cônica (m)	1,12	1,12	1,12
Delividade de fundo (V/H) (%)	8	8	8
Volume por decantador (m³)	2.385	2.385	2.385
Volume total (m³)	4.770	4.770	4.770
<i>Tempos de detenção (h)</i>			
Para Qmédia+Qr	1,4	1,4	1,4
Para Qmáxima+Qr	1,1	1,1	1,1
<i>Taxas de aplicação superficial (TAH)</i>			
Para Qmédia	0,7	0,7	0,7
Para Qmáxima	1,14	1,14	1,14
<i>Taxa de aplicação de sólidos (TAS)</i>			
Para Qmédia	5,35	5,35	5,35
Para Qmáxima	7,1	7,1	7,1
<i>Taxa de vertedor (m³/m.h)</i>			
Para Qmédia	5,1	5,1	5,1
Para Qmáxima	8,3	8,3	8,3

Tabela 12 – Dimensionamento do Digestor de Lodo.

Digestor de Lodo	
Características	Alternativa
	DP-LAC-DL
Qlodo (m³/d)	272
SSTafluente (kgSST/d)	2.268
Tempo de retenção de sólidos (d)	10
Volume total (m³)	2.722
Número de digestores (-)	2
Volume por digestor (m³)	1.361
Dimensões	
Altura do digestor (m)	10
Área requerida por digestor (m²)	136
Diâmetro da base (m)	13
Biogás	
Produção de biogás (m³/d)	3.733

Tabela 13 – Concentrações ideais para o efluente final.

Concentrações ideais para o efluente final (mg/l)			
Alternativa	LAAP	UASB-LAC	DP-LAC-DL
DBO_{efluente}	25	25	25
DQO_{efluente}	100	100	100
SS (kg/d)	30	30	30

5.2. Resultado dos custos

As tabelas a seguir apresentam os custos obtidos do estudo em questão.

Tabela 14 – Custo unitário dos equipamentos. Fonte: Cotação pessoal.

Equipamento	Potência (kW)	Fabricante	Custo unitário
Removedor de lodo para decantadores de diâmetro até 30 m	0,18	SIGMA	R\$ 219.794,73
Aerador mecânico superficial 50 cv	37	ECOSAN	R\$ 96.826,40
Misturador central 25 cv	18,5	SULZER	R\$ 195.784,20

Tabela 15 – Custos de implantação das alternativas de tratamento de esgotos.

Custos	Alternativa			Valor unitário	Referência	Valor total		
	LAAP	UASB-LAC	DP-LAC-DL			LAAP	UASB-LAC	DP-LAC-DL
Custo de Implantação								
Construção								
Concreto (m³)	3021	2348	2865	R\$ 360,01	SINAPI - SERVIÇOS - 74138/004	R\$ 1,087,482.21	R\$ 845,123.48	R\$ 1,031,554.65
Aço CA-60 (kg)	241656	187800	229228	R\$ 6.72	SINAPI - SERVIÇOS - 73942/001	R\$ 1,623,928.32	R\$ 1,262,016.00	R\$ 1,540,412.16
Formas (m²)	36248.4	28170	34384.2	R\$ 32.60	SINAPI - SERVIÇOS - 84215	R\$ 1,181,697.84	R\$ 918,342.00	R\$ 1,120,924.92
Cimbramento (m³)	30828	22452	19093.5	R\$ 28.65	SINAPI - SERVIÇOS - 73685	R\$ 883,222.20	R\$ 643,249.80	R\$ 547,028.78
Impermeabilização com alcatrão de ilha (m³)	3604	2986	3924	R\$ 44.28	SINAPI - SERVIÇOS - 73872/002	R\$ 159,585.12	R\$ 132,220.08	R\$ 173,754.72
Equipamentos								
Removedor de lodo	2	2	4	R\$ 219,794.73	COTAÇÃO - SIGMA	R\$ 439,589.46	R\$ 439,589.46	R\$ 879,178.92
Aerador mecânico	18	9	12	R\$ 96,826.40	COTAÇÃO - ECOSAN	R\$ 1,742,875.20	R\$ 871,437.60	R\$ 1,161,916.80
Digestor de lodo					COTAÇÃO - FARMATIC			
Tanque de aço	0	0	2	R\$ 923,357.23	COTAÇÃO - FARMATIC	R\$ -	R\$ -	R\$ 1,846,714.46
Misturador	0	0	2	R\$ 395,001.15	COTAÇÃO - FARMATIC	R\$ -	R\$ -	R\$ 790,002.30

Tabela 16 – Vida útil dos equipamentos. Fonte: Contato pessoal com as empresas cotadas.

Equipamento	Vida útil (anos)	Fabricante
Removedor de lodo para decantadores de diâmetro até 30 m	10	SIGMA
Aerador mecânico superficial 50 cv	5	ECOSAN
Misturador central 25 cv	5	SULZER

Tabela 17 – Custos de Operação (consome energético, substituição de equipamentos e disposição de lodo).

Custos	Alternativa			Valor unitário	Referência	Valor total		
	LAAP	UASB-LAC	DP-LAC-DL			LAAP	UASB-LAC	DP-LAC-DL
Custos OM&R (t=30 anos)								
Operação								
Consumo Energético por ano (kW/ano)	5757350	2880230	4162061	R\$ 0.30047	TARIFA ENERGIA P/ SANEAMENTO CELESC	R\$ 1,729,890.92	\$ 865,412.75	\$ 1,250,559.84
Ao longo do ciclo de vida do projeto (30 anos)	172720512	86406912	124861824	R\$ 0.30047	Considerando inflação de 6% a.a	R\$ 144,967,761.13	R\$ 72,523,039.87	R\$ 104,799,012.38
Substituição								
Ao longo do ciclo de vida do projeto (30 anos)					Tabela Life Cycle Cost (Custo do ciclo de vida)	R\$ 9,593,554.92	R\$ 5,236,366.92	R\$ 11,517,953.34
Custos de Eliminação								
Disposição do lodo (m³/ano)	7884	4182.9	3310.55	R\$ 150.00	Tarifa de disposição R\$/m³ de lodo	R\$ 1,182,600.00	R\$ 627,435.00	R\$ 496,582.50
Ao longo do ciclo de vida do projeto (30 anos)	236520	125487	99316.5	R\$ 150.00	Considerando inflação de 6% a.a	R\$ 99,103,863.68	R\$ 52,580,105.45	R\$ 41,614,446.46

Tabela 18 – Resumo do custo do ciclo de vida.

Custos do ciclo de vida (valores refletem a inflação)					
	LAAP		UASB-LAC		DP-LAC-DL
Custos construção civil	R\$	4,935,915.69	R\$	3,800,951.36	R\$ 4,413,675.23
Custos iniciais de equipamentos	R\$	2,182,464.66	R\$	1,311,027.06	R\$ 4,677,812.48
Custo total de Implantação	RS	7,118,380.35	RS	5,111,978.42	RS 9,091,487.71
Custos totais de Energia Elétrica	R\$	144,967,761.13	R\$	72,523,039.87	R\$ 104,799,012.38
Custos totais de Substituição	R\$	9,593,554.92	R\$	5,236,366.92	R\$ 11,517,953.34
Custos totais de Disposição de lodo	R\$	99,103,863.68	R\$	52,580,105.45	R\$ 41,614,446.46
Custo total de Operação	RS	253,665,179.73	RS	130,339,512.24	RS 157,931,412.18
Custo total	RS	260,783,560.07	RS	135,451,490.66	RS 167,022,899.89
Custos do ciclo de vida (Valor Presente Líquido)					
	LAAP		UASB-LAC		DP-LAC-DL
Custo total (VPL)	RS	98,827,993.93	RS	52,256,119.04	RS 66,697,227.66

5.3. Indicadores de desempenho

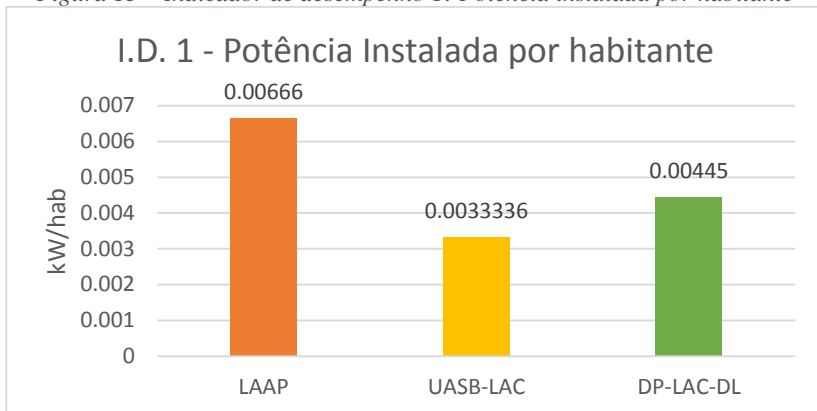
Para expressar a eficiência das alternativas de tratamento estudadas, foi realizada a comparação das alternativas a partir de indicadores de desempenho. De acordo com Bálmer e Hellström (2012) apud Barros (2013), os indicadores de desempenho utilizados para avaliar estações de tratamento de esgotos consistem em razões de consumo ou custo na parte do numerador, por um número que reflete desempenho no denominador. Neste estudo, foram escolhidos os seguintes indicadores de desempenho baseados no estudo desenvolvido por Barros (2013), aplicáveis a estações de tratamento de esgotos. Os valores monetários representam os gastos ao longo do custo do período de projeto.

Tabela 19 – Indicadores de desempenho.

Indicador de desempenho	Descrição	Unidade
<i>I.D. 1</i>	Potência Instalada por habitante	KW/hab
<i>I.D. 2</i>	Área construída por habitante	m ² /hab
<i>I.D. 3</i>	Custo de implantação por habitante	R\$/hab
<i>I.D. 4</i>	Custo de energia por habitante	R\$/hab
<i>I.D. 5</i>	Custo de energia por m ³ tratado	R\$/m ³
<i>I.D. 6</i>	Custo de energia por massa de DQO removida	R\$/Kg DQO
<i>I.D. 7</i>	Custo de energia por massa de SST removido	R\$/Kg SST
<i>I.D. 8</i>	Custo de disposição de lodo por habitante	R\$/hab
<i>I.D. 9</i>	Custo de operação por habitante	R\$/hab
<i>I.D. 10</i>	Custo do ciclo de vida por habitante (Valor Presente Líquido)	R\$/hab

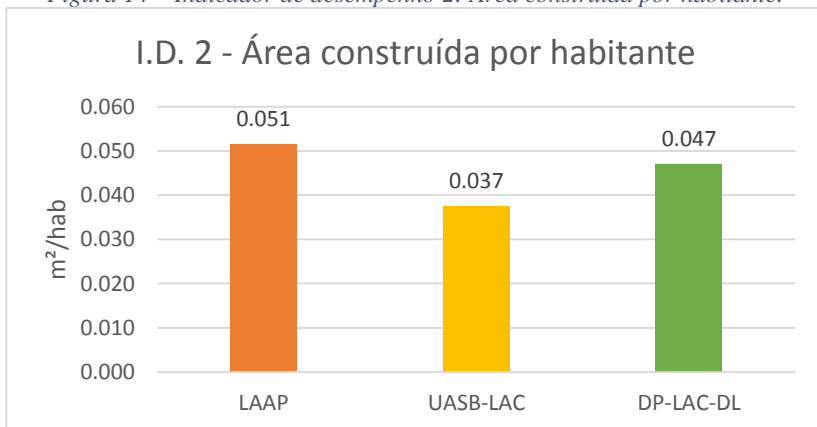
I.D. 1. Potência Instalada por habitante

A maior potência instalada por habitante foi observada na alternativa de LAAP, devido ao elevado número de aeradores que esta alternativa necessita para suprir a demanda de oxigênio para realizar a digestão aeróbia da matéria orgânica.

Figura 13 – Indicador de desempenho 1: Potência instalada por habitante

I.D. 2. Área construída por habitante

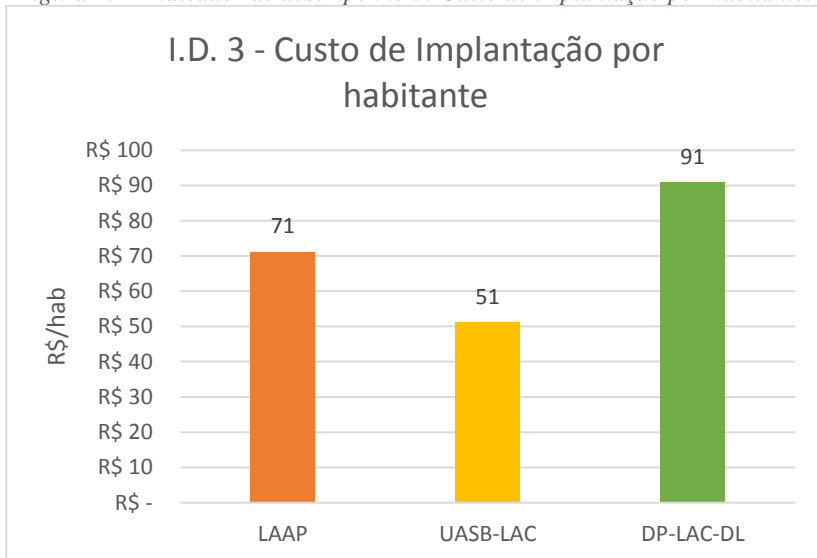
A alternativa que ocupou a maior área construída por habitante foi a de LAAP, especialmente devido aos tamanhos necessários para os tanques de aeração. É importante ressaltar que as alternativas apresentaram demanda de áreas bastante próximas, especialmente a alternativa UASB-LAC e DP-LAC-DL. Portanto, este parâmetro deve influenciar apenas onde o custo de aquisição de terreno for elevado. Este estudo não considerou este custo devido à grande variação de custos de aquisição de terreno.

Figura 14 – Indicador de desempenho 2: Área construída por habitante.

I.D. 3. Custo de implantação por habitante

Este indicador apontou que a alternativa de DP-LAC-DL constituiu o maior custo de implantação por habitante. Esta alternativa obteve elevado custo de implantação especialmente devido ao custo de aquisição dos digestores de lodo, os quais foram cotados pela empresa alemã FARMATIC. O custo do tanque em aço e do misturador central foram convertidos do euro alemão com a cotação de €1 = R\$3,1580. A alternativa LAAP obteve o segundo maior custo de implantação por habitante pois apresentou o maior custo de construção somados a um custo de equipamentos significativo.

Figura 15 – Indicador de desempenho 3: Custo de implantação por habitante.



I.D. 4, 5, 6, e 7. Custo de energia por habitante, por m³ tratado, por massa de DQO removida, e por massa de SST removida.

Os custos de energia foram maiores na alternativa LAAP devido a elevada potência instalada, principalmente pela grande quantidade de aeradores que esta alternativa utiliza para garantir o fornecimento de oxigênio necessário no tanque de aeração. É importante ressaltar o alto desempenho energético da alternativa UASB-LAC, o qual possui o menor consumo de energia entre as alternativas. O efluente pós reator UASB possui uma

qualidade consideravelmente melhor que nas outras alternativas devido a digestão anaeróbia ocorrida previamente. Deste modo, o tanque de aeração consiste num refinamento do efluente, possuindo este menor demanda de oxigênio que as outras alternativas.

Figura 16 - Indicador de desempenho 4: Custo de energia por habitante.

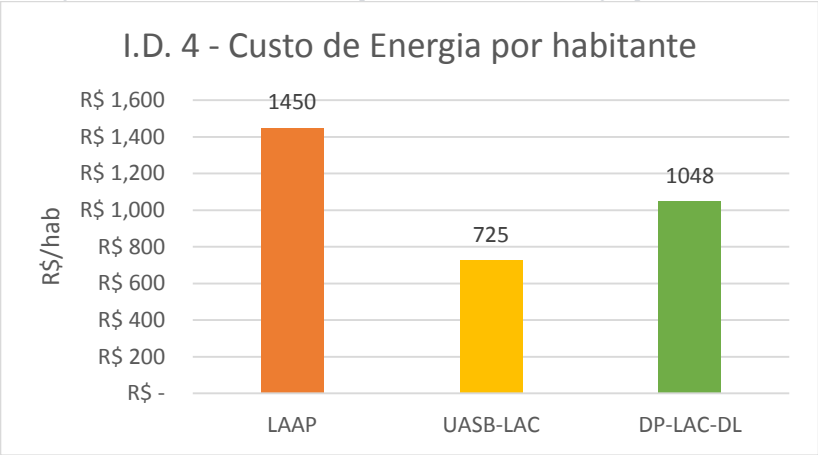


Figura 17 - Indicador de desempenho 5: Custo de energia por m³ tratado.

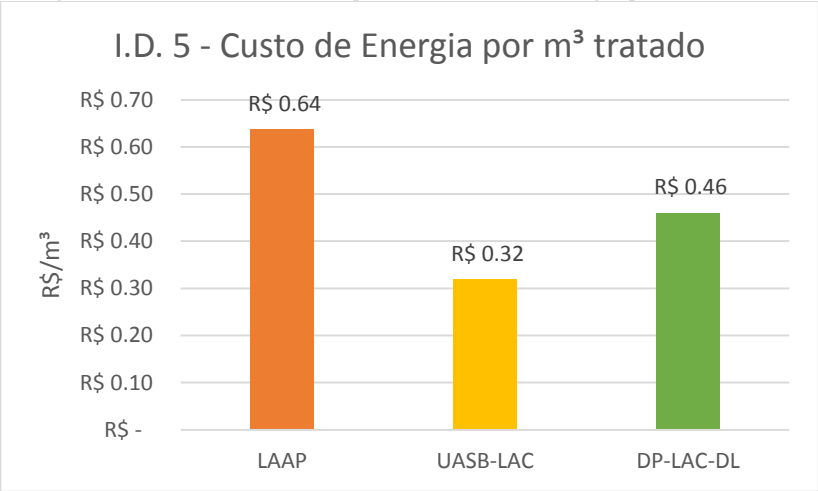


Figura 18 - Indicador de desempenho 6: Custo de energia por massa de DQO removida.

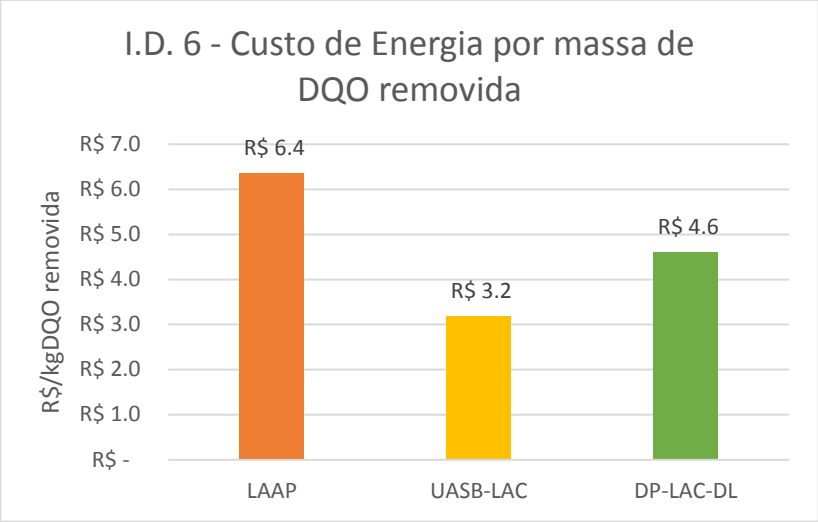
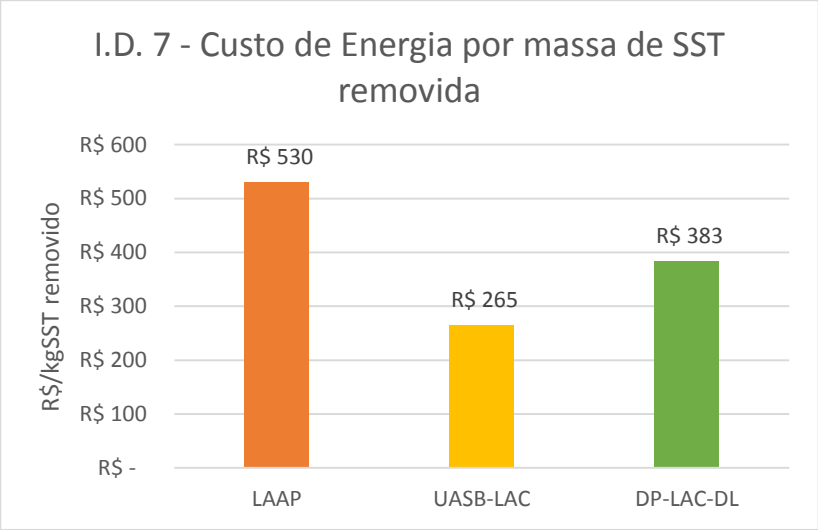


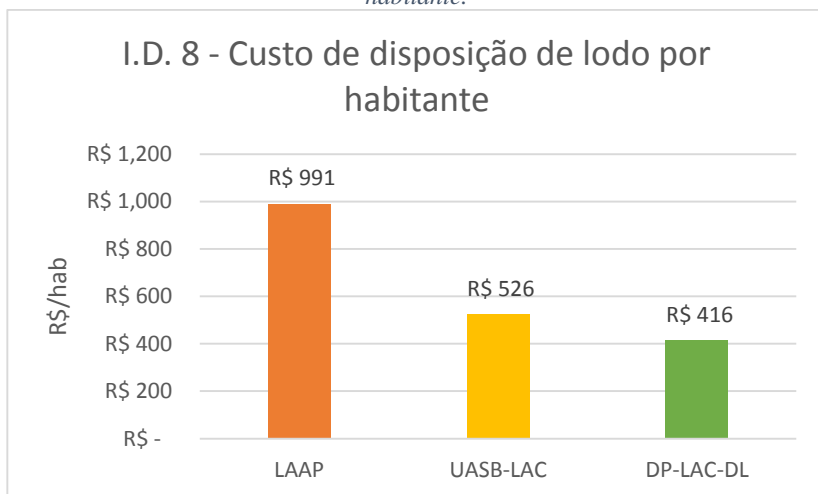
Figura 19 - Indicador de desempenho 7: Custo de energia por massa de SST removida.



I.D. 8. Custo de disposição de lodo por habitante

Os custos para dispor lodo são maiores na alternativa LAAP. Isto é verificado devido a esta alternativa não possuir etapa anaeróbia, sendo a estabilização do lodo realizada completamente dentro do tanque de aeração. As alternativas UASB-LAC e DP-LAC-DL apresentam custos similares, sendo este, gerado não apenas no tanque de aeração, mas também nas unidades de digestão anaeróbia.

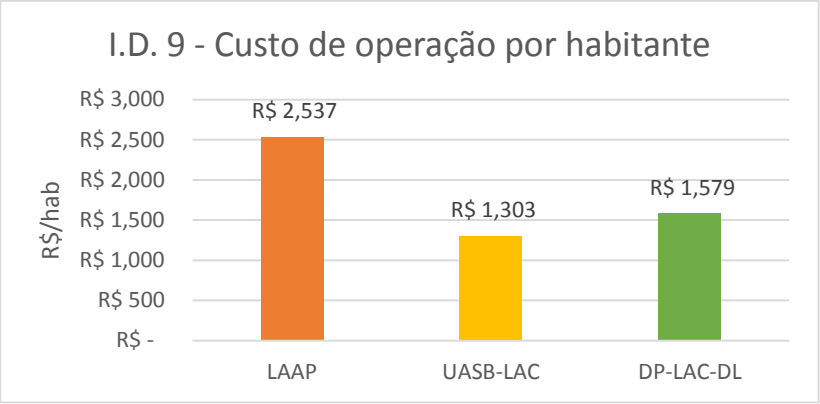
Figura 20 - Indicador de desempenho 8: Custo de disposição de lodo por habitante.



I.D. 9. Custo de operação por habitante

Este indicador determina a alternativa com o maior custo de operação. Visto o maior custo de energia e de disposição de lodo, a alternativa LAAP apresentou o maior custo de operação ao longo do período de projeto. É importante ressaltar que o custo de consumo energético consiste na maior parcela dos custos de operação, sendo portanto, a alternativa UASB-LAC a que possui o menor custo operacional, resultado do baixo consumo energético e a moderada geração de lodo.

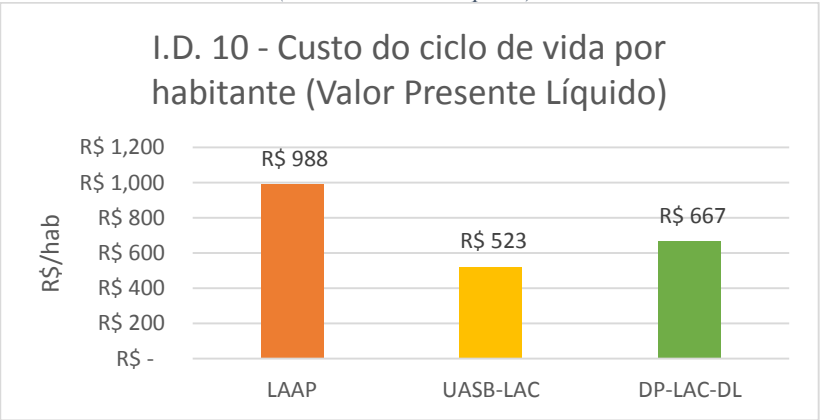
Figura 21 - Indicador de desempenho 9: Custo de operação por habitante.



I.D. 10. Custo do ciclo de vida por habitante (VPL)

O custo do ciclo de vida por habitante, expresso em valor presente líquido, é apresentado neste indicador. Foi constatado que para as mesmas condições ambientais do afluente ao sistemas de tratamento, assumindo ainda o alcance da mesma eficiência na remoção dos poluentes, a alternativa LAAP apresentou o maior custo total, seguida da alternativa DP-LAC-DL e, por fim, a alternativa UASB-LAC.

Figura 22 - Indicador de desempenho 10: Custo do ciclo de vida por habitante (Valor Presente Líquido).



5.4. Aproveitamento do biogás

As alternativas UASB-LAC e DP-LAC-DL apresentaram uma quantidade significativa na economia com gasto energético devido a geração de energia elétrica a partir do biogás. As figuras a seguir apresentam para cada alternativa o potencial energético e o valor monetário referente a economia de consumo de energia durante o período de projeto.

Figura 23 – Potencial energético do biogás nas alternativas UASB-LAC e DP-LAC-DL.

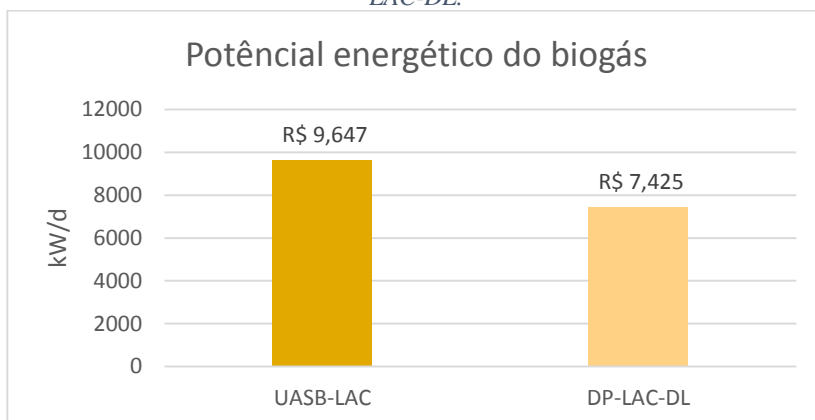
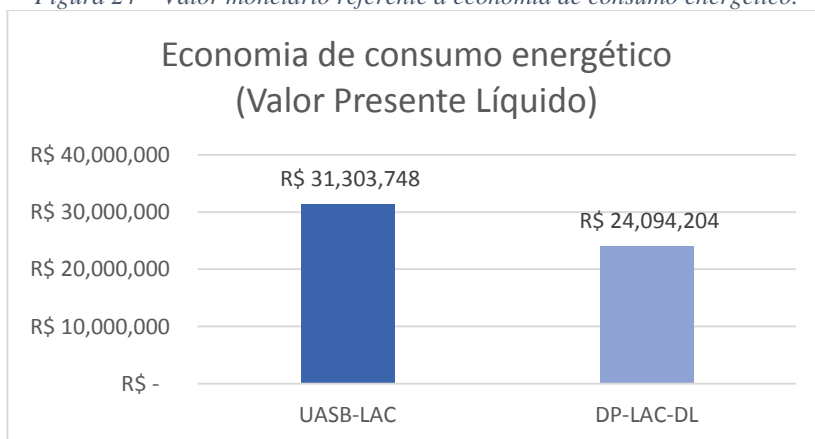


Figura 24 – Valor monetário referente a economia de consumo energético.



6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este trabalho buscou apresentar alternativas de tratamento de esgotos por lodos ativados. Os resultados constataram a importância de se analisar o estudo do custo do ciclo de vida, de modo a identificar de maneira detalhada onde se situam os custos mais significativos num sistema de tratamento de esgotos. Este trabalho poderá servir de auxílio para empresas no setor de saneamento, ajudando na tomada de decisão de concepções de tratamento que possuem um cenário similar ao estudado.

A partir dos indicadores de desempenho, foi apontado que a economia com a operação de um determinado investimento é suficiente para justificar um maior custo de investimento inicial. Os resultados mostram que, apesar do maior custo de implantação por habitante, a alternativa UASB-LAC foi a que resultou no menor custo do ciclo de vida devido o menor custo de implantação e operação, especialmente do custo de consumo energético, e ainda, um parcela considerável de potencial de produção de energia através do aproveitamento do biogás. Como esperado, a alternativa de aeração prolongada obteve o maior custo do ciclo de vida.

Contudo, outros aspectos devem ser considerados em estudos mais aprofundados. Os custos operacionais como manutenção de equipamentos, custos com operários, obras, reparação de equipamentos, devem ser avaliados para um maior refinamento do estudo do custo do ciclo de vida. Além disso, o estudo de padrões de consumo energético para cada alternativa pode contribuir para um resultado mais condizente com a realidade dos projetos. Outra perspectiva seria analisar o custo do ciclo de vida em função de diferentes qualidades de efluente final, de forma que a escolha da alternativa poderia ser influenciada se houvesse necessidade de tratamentos terciários.

Outro ponto a ser aprofundado seria a inclusão dos equipamentos para aproveitamento do biogás e geração de energia elétrica no custo do ciclo de vida das alternativas UASB-LAC e DP-LAC-DL. Estes equipamentos consistem no sistema de captação e medição, estocagem, e motor-gerador. Além do ganho econômico com a redução do consumo de energia elétrica, o aproveitamento do biogás permite a inserção da estação de tratamento de esgotos no mercado de créditos de carbono, por meio do desenvolvimento de projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). A avaliação de lucros neste mercado poderia ser comparado conjuntamente com o custo do ciclo de vida, modificando o resultado final dos custos, e influenciando na tomada de decisão entre alternativas.

Um estudo de riscos inerentes a cada tecnologia de tratamento também poderia ser incluído no estudo, de forma a complementar o detalhamento de operação de cada alternativa. É recomendado a variação das tecnologias abordadas, para comparar os custos e desempenho de outros processos de tratamento biológico, como por exemplo, sistemas de flotação, reatores anaeróbios seguidos de lagoa de polimento, e sistemas de filtro de areia plantado.

7. BIBLIOGRAFIA

ALEM SOBRINHO, P. Estudo dos fatores que influem no desempenho do processo de lodos ativados – determinação de parâmetros de projeto para esgotos predominantemente domésticos. **Revista DAE**, n.132, p. 49-85, 1983.

ANDRADE, C. A. **Nitratos e metais pesados no solo e em plantas de Eucalyptus grandis após aplicação de biossólido da ETE de Barueri**. 1999. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo.

ANDREOLI, Cleverson V. et al. **Lodos de esgotos – Tratamento e Disposição Final**. 1ª Edição. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte/MG. 2001.

ANDREOLI, Cleverson V. et al. **Alternativas de Uso de Resíduos de Saneamento**. Rio de Janeiro: ABES, 2006. 417 p. (Projeto PROSAB).

ANDREOLI, Cleverson V. et al. **Lodo de Fossa Séptica: Lodo de Fossa e Tanque Séptico: caracterização, tecnologias de tratamento, gerenciamento e destino final.** Rio de Janeiro: Abes, 2009. 388 p. (PROSAB, 6).

ARTAN , N. e ORHON, D. **The mechanism and design of sequencing batch reactor systems for nutrient removal**. Scientific and Technical Report, n. 19. IWA Publishing, 2005. 99 p.

BARRINGER, P. (2003, May 20–23). **A life cycle cost summary**. Paper presented at the International Conference of Maintenance Societies (ICOMSw-2003), Perth, Australia.

BARROS, I. P. A. F. **Proposta de um sistema de indicadores de desempenho para avaliação de estações de tratamento de esgotos do Distrito Federal**. 2013.210 p. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

BENTO, A.P.; SEZERINO, P.H.; PHILIPPI, L.S.; REGINATTO, V.; LAPOLLI, F.R.; **Caracterização da microfauna em estação de tratamento de esgotos do tipo lodos ativados: um instrumento de avaliação e controle do processo**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v.10, n.4, p. 329-338, 2005.

BRASIL. Ministério Da Fazenda Do Brasil. **Inflação**. Brasília, 2012. Disponível em: <<https://www.fazenda.gov.br/economia/inflacao>>. Acesso em: Outubro de 2014.

BCB - BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Perspectivas da economia brasileira**. Brasília, 2012b. Disponível em: <http://www.bcb.gov.br/pec/appron/apres/Alexandre_Tombini_Perspectivas_Economia_Brasileira_21_05_2012.pdf>. Acesso em: Novembro de 2014.

CAMPOS, J. R. **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro: ABES, 464 p. 1999.

CHERNICHARO, C.A.L. **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios** - Coletânea de trabalhos técnicos. Volume 1. PROSAB. B. Horizonte. 220 p. 2000.

CHERNICHARO, C.A.L. & BORGES J.M. **Metodologia utilizada durante a partida de um reator UASB de 477m³ tratando esgotos tipicamente domésticos**. In: Anais do XXV Congresso Interamericano de Ingenieria Sanitaria y Ambiental, Tomo I – Vol. 655-661, México, DF. 1996.

CHERNICHARO, C.A.L. **Reatores Anaeróbios**. 2^a ed. Belo Horizonte: Segrac, 1997. 380 p. (Princípio do Tratamento Biológico de Águas Residuárias, 5).

Davis Langton Management Consulting. **Life cycle costing (LCC) as a contribution to sustainable construction: A common methodology**. (5) London: Author, 2007.

EPA. **Evaluation of energy conservation measures for wastewater treatment facilities**. Washington, DC: Author. Setembro, 2010.

Gluch, P., & Baumann, H. **The life cycle costing (LCC) approach: A conceptual discussion of its usefulness for environmental decision-making**. Building and Environment, 39, 571–580. 2004.

GONÇALVES, R.F.; CHERNICHARO, C.A.L.; ANDRADE NETO, C.O.; ALEM SOBRINHO, P.; KATO, M.T.; COSTA, R.H.R.; AISSE, M.M.; ZAIAT, M. **Pós- tratamento de efluentes de reatores anaeróbios por reatores com biofilme**. In: Pós- tratamento de efluentes de reatores

anaeróbios. PROSAB 2. Segrac Editora e Gráfica Ltda, Belo Horizonte, MG. 544 p. 2001.

JORDÃO, E.P.; PESSÔA, C.A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 4ª ed. Rio de Janeiro: ABES. 2005. 906 p.

MARQUES, M.A. F. **Metodologia para aplicação dos princípios do ciclo de vida a Sistemas de Drenagem de Águas Residuais**. 2010. 131 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2010.

MELCHIOR, S.C.; CAMARGO, M.L.; CONEGLIAN, C.M.R.; BRITO, N.N.; LOPES, T.A.; BARROS, R.M.; SOBRINHO, G.D.; TONSO, S.; PELEGRINI, R. **Tratamento de efluentes por processo de lodos ativados**. III Fórum de Estudos Contábeis. Rio Claro – SP. 2003.

METCALF E EDDY. **Waste Engineering: treatment, disposal and reuse**. McGraw Hill, 4ª ed. 2003.

NUVOLARI, A et al. **Esgoto Sanitário: Coleta, Transporte, Tratamento e Reuso Agrícola**. 1ª ed. FATEC – SP, São Paulo, 2003.

PEREIRA, A. J. C. **Análise do custo do ciclo de vida da ETA de Queimadela**. 2009. 121 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2009.

VON SPERLING, M. **Lodos Ativados**. 2ª ed. – Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais; 1997.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3ª ed. – Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais; 2005.

SOUSA, C.A.; SILVA, C.M.; MOURA, M.A. Controle de intumescimento filamentosos em uma planta de lodos ativados de fábrica de papel reciclado através de seletores biológicos. In: **35º Congresso e Exposição Anual de Celulose e Papel**, São Paulo – SP, 2002.

SOUZA, C.L. **Estudo quantitativo e qualitativo de espuma acumulada por reatores UASB em escala de demonstração tratando esgotos domésticos**. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-graduação em

Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos; Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais; 2005.

SOUZA, C.C. Estudo do Desempenho de Reatores de Lodos Ativados de Fluxo Contínuo e de Batelada no Tratamento de Águas Residuárias em Regime Não Permanente. Trabalho de Diplomação. Programa de Graduação em Engenharia Civil - Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre; 2011.

VAN HAANDEL, A.C.; MARAIS, G.O. O comportamento do sistema de lodo ativado – Teoria e aplicação para projeto e operação. Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, Epgraf, 472 p., 1999.

Alternativa UASB-LAC

CUSTO DO CICLO DE VIDA														
-----DADOS DE PROJETO-----														
PROJETO: TCC Gustavo Dutra														
ALT.: UASB-LAC														
-----Taxas reais de Novembro 2014-----														
Entre 1 ou 0 para cada tipo de fonte de energia:			Anos:			Taxas:								
1 = Sim			Taxa de inflação (i)			2005 - 2,040			6,0%					
0 = Não			Eleticidade			2005 - 2,015 ...			6,0%					
FEP Fonte eletricidade*	1		(Fonte Empresa Privada)			2,016 - 2,025 ...			6,0%					
FEU Fonte eletricidade**	0				2,026 - 2,040 ...			6,0%					
Gas natural	0				2005 - 2,015 ...			0,0%					
Propano	0		Outras fontes de energia			2,016 - 2,025 ...			0,0%					
Óleo	0				2,026 - 2,040 ...			0,0%					
			Disposição de lodo			2005 - 2,040			6,0%					
* FEP = Fonte Empresa Privada														
** FEU = Fonte Empresa Pública														
R\$ 52,256,119 =30-anos ACCV														
-----FLUXOS DE CAIXA REAIS ANUAIS-----														
(Início) Ano	Custos Implantação e Subst.	Custos Disp. Anuais	Custos Energia Elétrica Anuais	Custos Anuais Totais	Valor Presente dos Custos Anuais	Valor Presente dos Custos Acumulados								
2,014	R\$ 5,111,978.42	R\$ 627,435.00	R\$ 865,412.75	R\$ 1,492,847.75	\$5,111,978	\$5,111,978								
2,014	R\$ 1,311,027	--	--	R\$ 5,111,978	\$5,111,978	\$5,111,978								
2,015	0	665,081	917,338	1,582,419	1,492,848	6,604,826								
2,016	0	704,986	972,378	1,677,364	1,492,848	8,097,674								
2,017	0	747,285	1,030,720	1,778,006	1,492,848	9,590,522								
2,018	0	792,122	1,092,564	1,884,686	1,492,848	11,083,369								
2,019	871,438	839,650	1,158,117	2,869,205	2,144,037	13,227,406								
2,020	0	890,029	1,227,605	2,117,633	1,492,848	14,720,254								
2,021	0	943,430	1,301,261	2,244,691	1,492,848	16,213,102								
2,022	0	1,000,036	1,379,336	2,379,373	1,492,848	17,705,949								
2,023	0	1,060,038	1,462,097	2,522,135	1,492,848	19,198,797								
2,024	1,311,027	1,123,641	1,549,822	3,984,490	2,224,918	21,423,715								
2,025	0	1,191,059	1,642,812	2,833,871	1,492,848	22,916,563								
2,026	0	1,262,522	1,741,380	3,003,903	1,492,848	24,409,411								
2,027	0	1,338,274	1,845,863	3,184,137	1,492,848	25,902,259								
2,028	0	1,418,570	1,956,615	3,375,185	1,492,848	27,395,106								
2,029	871,438	1,503,684	2,074,012	4,449,134	1,856,468	29,251,575								
2,030	0	1,593,906	2,198,453	3,792,358	1,492,848	30,744,422								
2,031	0	1,689,540	2,330,360	4,019,900	1,492,848	32,237,270								
2,032	0	1,790,912	2,470,181	4,261,094	1,492,848	33,730,118								
2,033	0	1,898,367	2,618,392	4,516,759	1,492,848	35,222,966								
2,034	1,311,027	2,012,269	2,775,496	6,098,792	1,901,632	37,124,598								
2,035	0	2,133,005	2,942,026	5,075,031	1,492,848	38,617,446								
2,036	0	2,260,985	3,118,547	5,379,533	1,492,848	40,110,293								
2,037	0	2,396,645	3,305,660	5,702,305	1,492,848	41,603,141								
2,038	0	2,540,443	3,504,000	6,044,443	1,492,848	43,095,989								
2,039	871,438	2,692,870	3,714,240	7,278,547	1,695,892	44,791,880								
2,040	0	2,854,442	3,937,094	6,791,536	1,492,848	46,284,728								
2,041	0	3,025,709	4,173,320	7,199,028	1,492,848	47,777,576								
2,042	0	3,207,251	4,423,719	7,630,970	1,492,848	49,270,424								
2,043	0	3,399,686	4,689,142	8,088,828	1,492,848	50,763,271								
2,044	0	3,603,667	4,970,490	8,574,158	1,492,848	52,256,119								
Totais:	R\$ 6,547,394	R\$ 52,580,105	R\$ 72,523,040	R\$ 135,451,491	R\$ 52,256,119	=30-anos ACCV								
	1st+Subst	Disposição Lodo	Energia Elétrica	Total Anual										

Alternativa DP-LAC-DL

CUSTO DO CICLO DE VIDA										26-Nov-14
-----DADOS DE PROJETO-----										
PROJETO: TCC Gustavo Dutra										
ALT.: DP-LAC-DL										
-----Taxas reais de Novembro 2014-----										
Entre 1 ou 0 para cada tipo de fonte de energia:					Anos:		Taxas:			
	1 = Sim	Taxa de inflação (i)			2005 - 2,040		6,0%			
	0 = Não	Eleticidade			2005 - 2,015		6,0%			
FEP Fonte eletricidade*	1	(Fonte Empresa Privada)			2,016 - 2,025		6,0%			
FEU Fonte eletricidade**	0				2,026 - 2,040		6,0%			
Gas natural	0				2005 - 2,015		0,0%			
Propano	0	Outras fontes de energia			2,016 - 2,025		0,0%			
Oleo	0				2,026 - 2,040		0,0%			
		Disposição de lodo			2005 - 2,040		6,0%			
* FEP = Fonte Empresa Privada										
** FEU = Fonte Empresa Pública										
										R\$ 66,697,228 =30-anos ACCV
-----FLUXOS DE CAIXA REAIS ANUAIS-----										
(Início) Ano	Custos Implantação e Subst.	Custos Disp. Anuais	Custos Energia Elétrica Anuais	Custos Anuais Totais	Valor Presente dos Custos Anuais	Valor Presente dos Custos Acumulados				
2,014	R\$ 9,091,487.71	R\$ 496,582.50	R\$ 1,250,559.84	R\$ 1,747,142.34						
2,014	R\$ 4,677,812	--	--	R\$ 9,091,488	\$9,091,488	\$9,091,488				
2,015	0	526,377	1,325,593	1,851,971	1,747,142	10,838,630				
2,016	0	557,960	1,405,129	1,963,089	1,747,142	12,585,772				
2,017	0	591,438	1,489,437	2,080,874	1,747,142	14,332,915				
2,018	0	626,924	1,578,803	2,205,727	1,747,142	16,080,057				
2,019	1,951,919	664,539	1,673,531	4,289,990	3,205,730	19,285,787				
2,020	0	704,412	1,773,943	2,478,355	1,747,142	21,032,929				
2,021	0	746,676	1,880,380	2,627,056	1,747,142	22,780,072				
2,022	0	791,477	1,993,202	2,784,679	1,747,142	24,527,214				
2,023	0	838,966	2,112,795	2,951,760	1,747,142	26,274,356				
2,024	2,831,098	889,304	2,239,562	5,959,964	3,328,013	29,602,369				
2,025	0	942,662	2,373,936	3,316,598	1,747,142	31,349,511				
2,026	0	999,222	2,516,372	3,515,594	1,747,142	33,096,654				
2,027	0	1,059,175	2,667,354	3,726,529	1,747,142	34,843,796				
2,028	0	1,122,725	2,827,396	3,950,121	1,747,142	36,590,938				
2,029	1,951,919	1,190,089	2,997,039	6,139,047	2,561,610	39,152,548				
2,030	0	1,261,494	3,176,862	4,438,356	1,747,142	40,899,691				
2,031	0	1,337,184	3,367,474	4,704,657	1,747,142	42,646,833				
2,032	0	1,417,415	3,569,522	4,986,937	1,747,142	44,393,975				
2,033	0	1,502,460	3,783,693	5,286,153	1,747,142	46,141,118				
2,034	2,831,098	1,592,607	4,010,715	8,434,420	2,629,892	48,771,010				
2,035	0	1,688,164	4,251,358	5,939,522	1,747,142	50,518,152				
2,036	0	1,789,454	4,506,439	6,295,893	1,747,142	52,265,294				
2,037	0	1,896,821	4,776,826	6,673,646	1,747,142	54,012,437				
2,038	0	2,010,630	5,063,435	7,074,065	1,747,142	55,759,579				
2,039	1,951,919	2,131,268	5,367,241	9,450,428	2,201,937	57,961,516				
2,040	0	2,259,144	5,689,276	7,948,420	1,747,142	59,708,658				
2,041	0	2,394,693	6,030,632	8,425,325	1,747,142	61,455,801				
2,042	0	2,538,374	6,392,470	8,930,844	1,747,142	63,202,943				
2,043	0	2,690,677	6,776,018	9,466,695	1,747,142	64,950,085				
2,044	0	2,852,117	7,182,579	10,034,697	1,747,142	66,697,228				
Totais:	R\$ 16,195,766	R\$ 41,614,446	R\$ 104,799,012	R\$ 167,022,900	R\$ 66,697,228	=30-anos ACCV				
	1st+Subst	Disposição Lodo	Energia Elétrica	Total Anual						